

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ**



Διπλωματική Εργασία με Θέμα

**“ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΓΕΘΩΝ
ΚΑΤΕΡΓΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
ΠΟΛΥΜΕΡΟΥΣ ΥΛΙΚΟΥ ”**

ΚΑΛΟΓΗΡΟΣ ΘΩΜΑΣ

Επιβλέπων

**Δρ. Γ. Π. Πετρόπουλος
Επίκουρος καθηγητής**

ΒΟΛΟΣ 2008

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων)	Δρ. Γεώργιος Πετρόπουλος Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δεύτερος Εξεταστής	Δρ. Κερμανίδης Αλέξιος Λέκτορας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τρίτος Εξεταστής	Δρ. Χασιώτης Νικόλαος Δρ. Μεταλλουργός Μηχανικός, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρώτα από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Επίκουρο Καθηγητή κ. Γεώργιο Πετρόπουλο, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του κατά την διάρκεια της δουλειάς μου. Επίσης είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγητή Κερμανίδη Αλέξιο και Δρ. Χασιώτη Νικόλαο για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και τις πολύτιμες υποδείξεις τους.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους διδάσκοντες του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας Βόλου για τις πολύτιμες και βασικές γνώσεις που μου παρείχαν στα πλαίσια των προπτυχιακών μαθημάτων.

Ευχαριστώ το προσωπικό, τους μεταπτυχιακούς και διδακτορικούς φοιτητές εργαστηρίου της Μηχανουργικών Κατεργασιών για την σημαντική της βοήθεια στην περάτωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ και να αφιερώσω αυτή την εργασία στους γονείς μου που με στήριξαν ηθικά και οικονομικά κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	7
--------------------------	----------

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	9
--------------------------	----------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΚΑΤΕΡΓΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ

1.1 Εισαγωγή	10
1.2 Πειραματική διαδικασία	11
1.2.1 Υλικά και διαδικασίες κατεργασίας	11
1.2.2 Συνθήκες κοπήs	13
1.2.3 Κοπτικό εργαλείο	14

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

2.1 Εργαστηριακός εξοπλισμός	15
2.1.1 Παρουσίαση του τόνου	15
2.1.2 Κοπτικά εργαλεία	21
2.1.3 Δυναμόμετρο	26
2.1.4 Ταχύμετρο	27
2.1.5 Μέτρηση φθοράs ένθετου πλακιδίου	28

2.2	Διαμήκης Τόρνευση.....	30
2.3	Φθορά του εργαλείου κοπής.....	31
2.4	Παράμετροι μέτρησης τραχύτητας.....	35
2.5	Εκτέλεση πειράματος.....	45
2.5.1	Κατεργασία κοπής.....	45
2.5.2	Φθορά κοπτικού.....	47
2.5.3	Απόβλητο κοπής.....	48
2.5.4	Μέτρηση τραχύτητας.....	50
2.6	Ειδική αντίσταση κοπής.....	51

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

3.1	ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ (ANOVA).....	53
-----	----------------------------------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

4.1	Αποτελέσματα για δυνάμεις κοπής.....	55
4.2	Αποτελέσματα για τραχύτητα επιφάνειας.....	58
4.3	Στατιστικά αποτελέσματα για δυνάμεις κοπής και συμπεράσματα..	106

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΚΡΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ	113
--	------------

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	116
------------------	------------

Π.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΟΠΗΣ ERTACETAL	116
--	-----

Π.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΜΑΤΑ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ERTACETAL	122
--	-----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	134
---------------------	------------

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Σχήμα 1.1 Κατεργαζόμενο υλικό Ertacetal

Σχήμα 1.2 Ertacetal πριν τη κατεργασία

Σχήμα 1.3 κοπτικό SPUN120308

Σχήμα 2.1 Μέρη Τόρνου

Σχήμα 2.2 Τρόπος συγκράτησης κοπτικών εργαλείων τórνευσης

Σχήμα 2.3 Συμβατικός τórνος

Σχήμα 2.4 Χαρακτηριστικές ακμές και επιφάνειες εργαλείου και τεμαχίου στην τórνευση

Σχήμα 2.5 Χαρακτηριστικές γωνίες κοπτικού εργαλείου τórνευσης

Σχήμα 2.6 Τιμές αναφοράς για γωνίες κοπής σε τórνευση με σκληρομέταλλα και ταχυχάλυβα

Σχήμα 2.7 Χαρακτηριστικές γωνίες τοποθέτησης κοπτικού εργαλείου τórνευσης

Σχήμα 2.8 Δυναμόμετρο KISTLER CH-4208

Σχήμα 2.9 Τραχύμετρο Sutronic 25

Σχήμα 2.10 Μικροσκόπιο Mitutoyo

Σχήμα 2.11 Μικροσκόπιο Mitutoyo

Σχήμα 2.12 Απεικόνιση της επιφάνειας φθοράς κρατήρα

Σχήμα 2.13 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά της ζώνης φθοράς και της φθοράς κρατήρα

Σχήμα 2.14 Ανάλυση της δύναμης κοπής F στις συνιστώσες Ft, Fv και FR κατά τη διαμήκη τórνευση

Σχήμα 2.15 Ορισμός της μέσης αριθμητικής τραχύτητας Ra.

- Σχήμα 2.16 Ορισμός των παραμέτρων R_p , R_v και R_t
- Σχήμα 2.17 Περιγράμματα επιφανειών με θετική και αρνητική λοξότητα
- Σχήμα 2.18 Περιγράμματα επιφανειών με κύρτωση μεγαλύτερη και μικρότερη από 3
- Σχήμα 2.19 Ορισμός του μήκους φέρουσας επιφάνειας R_{tp}
- Σχήμα 2.20 Καμπύλη φέρουσας επιφάνειας
- Σχήμα 2.21 Ορισμός της ομάδας παραμέτρων R_k .
- Σχήμα 2.22 Κοπτικό πριν τη κοπή
- Σχήμα 2.23 Κοπτικό ύστερα από κοπή 52 mm
- Σχήμα 2.24 Απόβλητο ύστερα από κοπή με ταχύτητα 200 m/min και πρόωση 0.05
- Σχήμα 2.25 Απόβλητο ύστερα από κοπή με ταχύτητα 300 m/min και πρόωση 0.20
- Σχήμα 2.26 Απόβλητο ύστερα από κοπή με ταχύτητα 500 m/min και πρόωση 0.32
- Σχήμα 2.27 Γραφική παράσταση $k_s - h$
- Σχήμα 4.1 Διάγραμμα $R_a - F_z$
- Σχήμα 4.2 Διάγραμμα $R_a - F_x$
- Σχήμα 4.3 Διάγραμμα $R_a - F_y$

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1 Μηχανικές και θερμικές ιδιότητες του κατεργαζόμενου υλικού ERTACETAL

Πίνακας 1.2 Συνθήκες κοπής

Πίνακας 2.1 Μέρη του τόρνου

Πίνακας 2.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά του συμβατικού τόρνου

Πίνακας 2.3 Προδιαγραφές δυναμομέτρου

Πίνακας 2.4 Χαρακτηριστικά τραχυμέτρου Sutronic 25

Πίνακας 2.5 Μεσαίες τιμές δυνάμεων κοπής ανάλογα με την ταχύτητα κοπής και τη δύναμη προώσεως

Πίνακας 2.6 Παράμετροι τραχύτητας (α)

Πίνακας 2.7 Παράμετροι τραχύτητας (β)

Πίνακας 4.1 Σχέση μεταξύ R_a και F_z

Πίνακας 4.2 Σχέση μεταξύ R_a και F_x

Πίνακας 4.3 Σχέση μεταξύ R_a και F_y

1.ΚΑΤΕΡΓΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κατεργαστικότητα ενός υλικού εφαρμοσμένης μηχανικής δείχνει την προσαρμοστικότητά του στην κατεργασία των διαδικασιών λαμβάνοντας υπόψη τους παράγοντες όπως οι τέμνουσες δυνάμεις, η φθορά εργαλείων, και η τραχύτητα επιφάνειας. Αντιπροσωπεύει μια εξαιρετική τεχνολογική δυνατότητα που βοηθά τον κατασκευαστή για να πάρει τις κρίσιμες αποφάσεις και να εφαρμόσει τους κατάλληλους όρους κατεργασίας για το επεξεργασμένο υλικό κομματιών κάθε φορά. Οι αποτελεσματικές και αξιόπιστες βάσεις δεδομένων κατασκευασσιμότητας για την κοπή των μετάλλων έχουν αναπτυχθεί κατά τη διάρκεια των προηγούμενων δεκαετιών, αλλά και πολλά μη μεταλλικά υλικά έχουν εισαχθεί στη βιομηχανία για να αποτελέσουν τα δομικά συστατικά. Η μελέτη και κατεργασία αυτών των υλικών αποτελεί σημαντικό διαδικασία με την αυξανόμενη χρήση ενισχυμένου πλαστικού (FRPs) στις βιομηχανίες. Η κατεργασία FRPs διαφέρει από την κατεργασία των μετάλλων και η θεωρία και η εμπειρία από τα μέταλλα δεν μπορούν να εφαρμοστούν άμεσα. Αυτό είναι επειδή FRPs είναι δύο φάσεις υλικών που έχουν τις διαφορετικές μηχανικές και θερμικές ιδιότητες, το οποίο επηρεάζει την κατασκευασσιμότητα αυτής της κατηγορίας σύνθετου υλικού. Η κατασκευασσιμότητα δείχνει τη σχετική ευκολία με την οποία ένα υλικό μπορεί να επεξεργαστεί στη μηχανή χρησιμοποιώντας την κατάλληλη σχεδίαση και κατάλληλες παραμέτρους κοπής.

Πολυμερή ονομάζονται οι χημικές ενώσεις με μεγάλα μόρια που σχηματίζονται από τη σύνδεση πολλών μικρών μορίων, σε αντιδιαστολή με τις απλούστερες που λέγονται "μονομερή", (ενώσεις με μικρά μόρια). Τα πολυμερή προκύπτουν από τη χημική αντίδραση των μονομερών, που ονομάζεται πολυμερισμός.

Υφίστανται φυσικά πολυμερή και συνθετικά πολυμερή. Τέτοια φυσικά πολυμερή είναι για παράδειγμα το DNA, το καουτσούκ, το άμυλο, η κυτταρίνη κ.λπ., ενώ συνθετικά πολυμερή είναι τα πλαστικά, οι εκρηκτικές ύλες, οι λευκαντικές ουσίες, τα σαπούνια κ.λπ.

1.2.ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

1.2.1.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο πίνακας 1 παρουσιάζει ιδιαίτερες μηχανικές και θερμικές ιδιότητες του κατεργαζόμενου υλικού ERTACETAL

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ	1,41	g/cm ³
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΗΞΗΣ	165	°C
ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ 23°C	0,31	W/(K.m)
ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΠΙΕΣΗ ΣΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ	68	MPa
ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	3100	MPa

Όσον αφορά τις διαστάσεις του κατεργαζόμενου υλικού γνωρίζουμε ότι το μήκος είναι 500mm ενώ η διάμετρος του 150mm.Οι εικόνες 1.1 και 1.2 παρουσιάζουν το κατεργαζόμενο υλικό.



1.1 Κατεργαζόμενο υλικό Ertacetal



1.2 Ertacetai πριν τη κατεργασία

ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

- Υψηλή μηχανική αντοχή, ακαμψία και σκληρότητα
- Αντοχή σε θραύση
- Καλή αντίσταση σε ερπυσμό
- Υψηλή αντοχή σε κρούσεις ακόμη και σε χαμηλές θερμοκρασίες
- Πολύ καλή σταθερότητα διαστάσεων
- Καλές ιδιότητες ολίσθησης
- Φυσιολογικά αδρανές (κατάλληλο για επαφή με τρόφιμα)

Οι διαδικασίες κατεργασίας του υλικού είναι οι εξής :

ΚΑΤΕΡΓΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ

- Κατεργασία κοπής του υλικού στον τόρνο. Η διαδικασία πραγματοποιείται υπό συγκεκριμένες συνθήκες (ταχύτητα κοπής, βάθος κοπής και πρόωσης) και με συγκεκριμένο κοπτικό υλικό.

- Υπολογισμό των δυνάμεων κοπής

- Μελέτη φθοράς του κοπτικού εργαλείου

- Μέτρηση τραχύτητας και υπολογισμών παραμέτρων της

1.2.2.ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΟΠΗΣ

Για την κατεργασία έχουν επιλεγθεί 4 διαφορετικές τιμές πρόωσης και 3 διαφορετικές τιμές ταχύτητας κοπής με σταθερή την τιμή του βάθους κοπής ($a=1\text{mm}$). Οι τιμές παρουσιάζονται στον πίνακα 2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2

	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ V (m/min)	ΠΡΟΩΣΗ
1	200	0,05
2	300	0,10
3	500	0,20
4		0,32

1.2.3.Κοπτικό εργαλείο

Το εργαλείο κοπής που χρησιμοποιείται είναι το SPUN120308.Το κοπτικό είναι τετραγωνικής μορφής και η γωνία ελευθερίας είναι $\alpha = 11^\circ$.Η διάμετρος του είναι 12.70 mm και το πάχος του 3,18mm.



1.3 κοπτικό SPUN120308

2.ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Γενικά

Αντικείμενο μελέτης της πειραματικής εργασίας είναι η μέτρηση της φθοράς του κοπτικού, των δυνάμεων κοπής, των μεγεθών της τραχύτητας επιφανειών που έχουν προκύψει από κατεργασίες τόννευσης. Η τόννευση ανήκει στην ομάδα των κατεργασιών κοπής με περιστροφική την πρωτεύουσα κίνηση και μεταφορική την κίνηση της πρόωσης. Διάφορα κινηματικά είδη τόννευσης προκύπτουν με βάση την αμοιβαία σχέση των κύριων λειτουργικών κινήσεων.

2.1 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

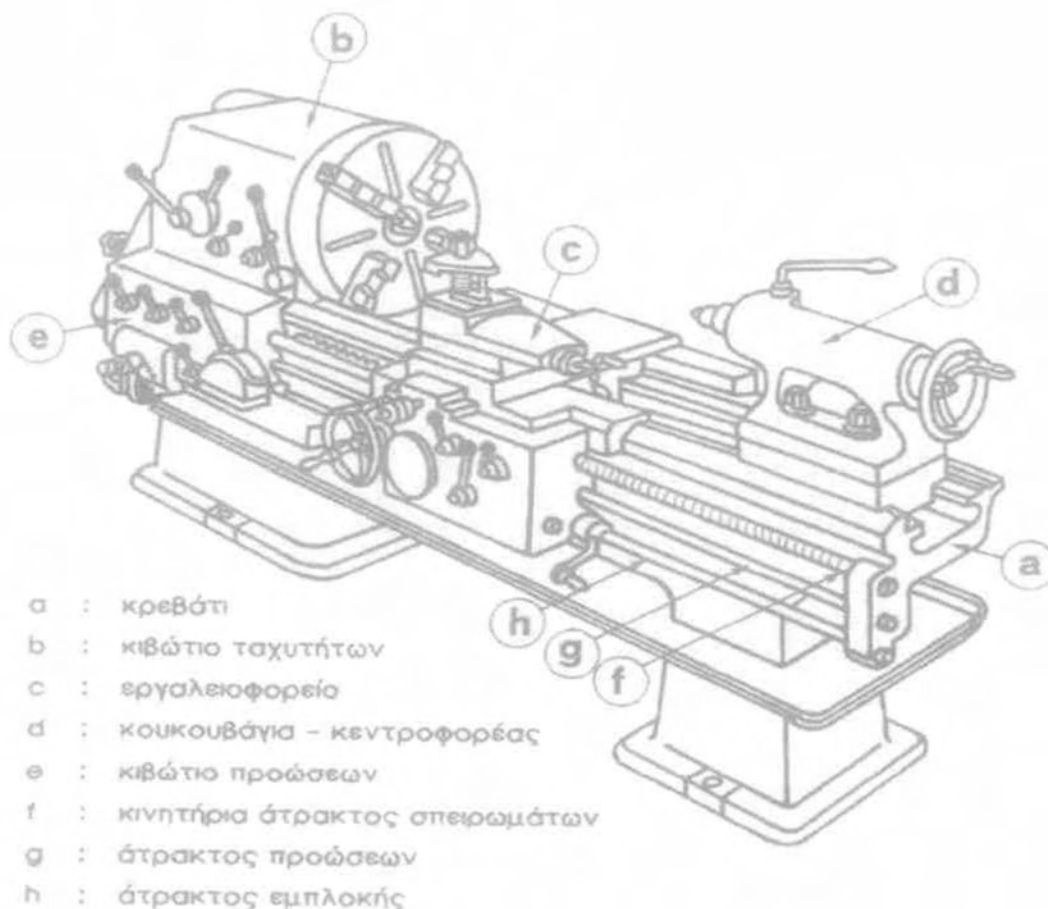
Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για τη πειραματική διαδικασία είναι ο τόννος για τη κοπή, το δυναμόμετρο για τη μέτρηση δυνάμεων, το μικροσκόπιο για τη μέτρηση φθοράς του κοπτικού εργαλείου.

2.1.1 ΤΟΡΝΟΣ

Η εργαλειομηχανή που εξασφαλίζει με ακρίβεια τις κινήσεις του τεμαχίου και του εργαλείου για την τόννευση, είναι ο τόννος. Στο σχήμα 2,1 παρουσιάζεται σχηματικά ένας τόννος, όπου διακρίνονται και τα μέρη από τα οποία αποτελείται. Στον παρακάτω πίνακα Π.3.1, παρουσιάζονται τα μέρη αυτά μαζί με την αγγλική αντίστοιχη ονομασία τους.

	Ελληνική ορολογία	Αγγλική ορολογία
a	κρεβάτι	lathe bed
b	κιβώτιο ταχυτήτων	headstock
c	εργαλειοφορείο	saddle with cross and compound slide
d	κουκουβάγια - κεντροφορέας	tailstock
e	κιβώτιο προώσεων	feed gear box
f	κινητήρια άτρακτος σπειρωμάτων	lead screw
g	άτρακτος προώσεων	feed shaft
h	άτρακτος εμπλοκής	switch bar

Πίνακας 2.1 : Μέρη του τόννου



Σχήμα 2.1 Μέρη Τόρνου

Ο τόρνος αποτελεί μια από τις περισσότερο παραγωγικές εργαλειομηχανές και το 40% περίπου των εργασιών κοπής των μετάλλων γίνονται σε τόρνο. Οι σύγχρονοι τόρνοι έχουν δυνατότητα παραγωγής καμπύλων εξαρτημάτων, με μεγάλο αριθμό ακρίβειας και μεγάλες ταχύτητες παραγωγής. Το μέγεθος του τόρνου εκτιμάται βασικά από δύο χαρακτηριστικά :

- τη μέγιστη διάμετρος τεμαχίου που μπορεί να δεθεί στους σφικτήρες και να περιστραφεί γύρω από τους οδηγούς,
- το μήκος κρεβατιού.

Επισημαίνεται ότι το μήκος του κρεβατιού δεν αντιστοιχεί και στο μέγιστο μήκος τεμαχίου προς κατεργασία μια και αυτό καθορίζεται από την απόσταση των κέντρων του κιβωτίου ταχυτήτων και του κεντροφορέα. Εκτός των παραπάνω χαρακτηριστικών παίζουν σημαντικό ρόλο και τα εξής :

- ο μικρότερος και ο μεγαλύτερος αριθμός στροφών που μπορεί να επιτευχθεί,
- το πλήθος των ταχυτήτων,
- η ισχύς του ηλεκτροκινητήρα και
- το συνολικό βάρος του

Οι τόννοι, όπως και οι περισσότερες εργαλειομηχανές, μπορεί να είναι συμβατικοί πράγμα που σημαίνει πως καθοδηγούνται από τον χειριστή που κάνει όλες τις απαραίτητες κινήσεις και ρυθμίσεις για την κατεργασία, ή να είναι τόννοι ψηφιακά καθοδηγούμενοι όπου οι κινήσεις αλλά και οι ρυθμίσεις απαιτούν πολύ μικρή συμμετοχή του παραδοσιακού χειριστή μια και τις αναλαμβάνει μια ηλεκτρονική μονάδα καθοδήγησης που την χειρίζεται προγραμματιστής.

Η τεχνολογία όμως της κοπής κατά βάση παραμένει η ίδια. Έτσι οι επιλεγόμενες ταχύτητες κοπής, οι προώσεις, τα κοπτικά εργαλεία κ.λπ, καθορίζονται και στις δύο περιπτώσεις αντίστοιχα. Η αυτοματοποίηση αυτή των κατεργασιών που γίνεται τις τελευταίες δεκαετίες δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να καταργήσει την αναγκαιότητα γνώσης των υλικών, των καταλλήλων συνθηκών κοπής, της συμπεριφοράς της φθοράς των κοπτικών εργαλείων και γενικά αυτού που ονομάζεται τεχνολογία της κοπής. Οι τόννοι, παραδοσιακοί ή μη, διακρίνονται ανάλογα με την τοποθέτηση του σφικτήρα ή αντίστοιχα την τοποθέτηση του κοπτικού εργαλείου σε μετωπικούς και κάθετους τόννους. Η χρήση του τόννου για κατεργασίες κοπής υπόκειται σε σημαντικούς κανόνες ασφαλείας που πρέπει να τηρούνται με θρησκευτική ευλάβεια. Έτσι :

- Δεν πρέπει να χειρίζεται τόννο κάποιος ή κάποια που δεν γνωρίζει επακριβώς τον χειρισμό του,
- Δεν πρέπει να χειρίζεται τόννο κάποιος ή κάποια που έχει λυμένα μακριά μαλλιά, που δεν φορά την κατάλληλη ενδυμασία ή φορά μπρασελέ, βραχιόλια, πουκάμισα με φαρδιά μανίκια και γενικά ο,τιδήποτε θα μπορούσε να συλληφθεί από το περιστρεφόμενο τσοκ.
- Τα προστατευτικά γυαλιά για την προστασία των ματιών από τα απόβλητα, είναι υποχρεωτικά.
- Πρέπει πάντα να χρησιμοποιείται το κατάλληλο κοπτικό εργαλείο και μανέλα.
- Πρέπει πάντα να γίνεται έλεγχος αν ο σφικκτήρας έχει κλείσει σωστά και το περιστρεφόμενο τεμάχιο συγκρατείται καλά στην θέση του.
- Πριν ο τόννος τεθεί σε λειτουργία θα πρέπει να έχει κατέβει το προστατευτικό κάλυμμα του σφικτήρα εκτός των άλλων και για να αποφευχθεί η περίπτωση να έχει ξεχαστεί το κλειδί του τσοκ στην υποδοχή σύσφιξης.
- Πρέπει ο τόννος να σταματά σε κάθε απόπειρα μέτρησης.

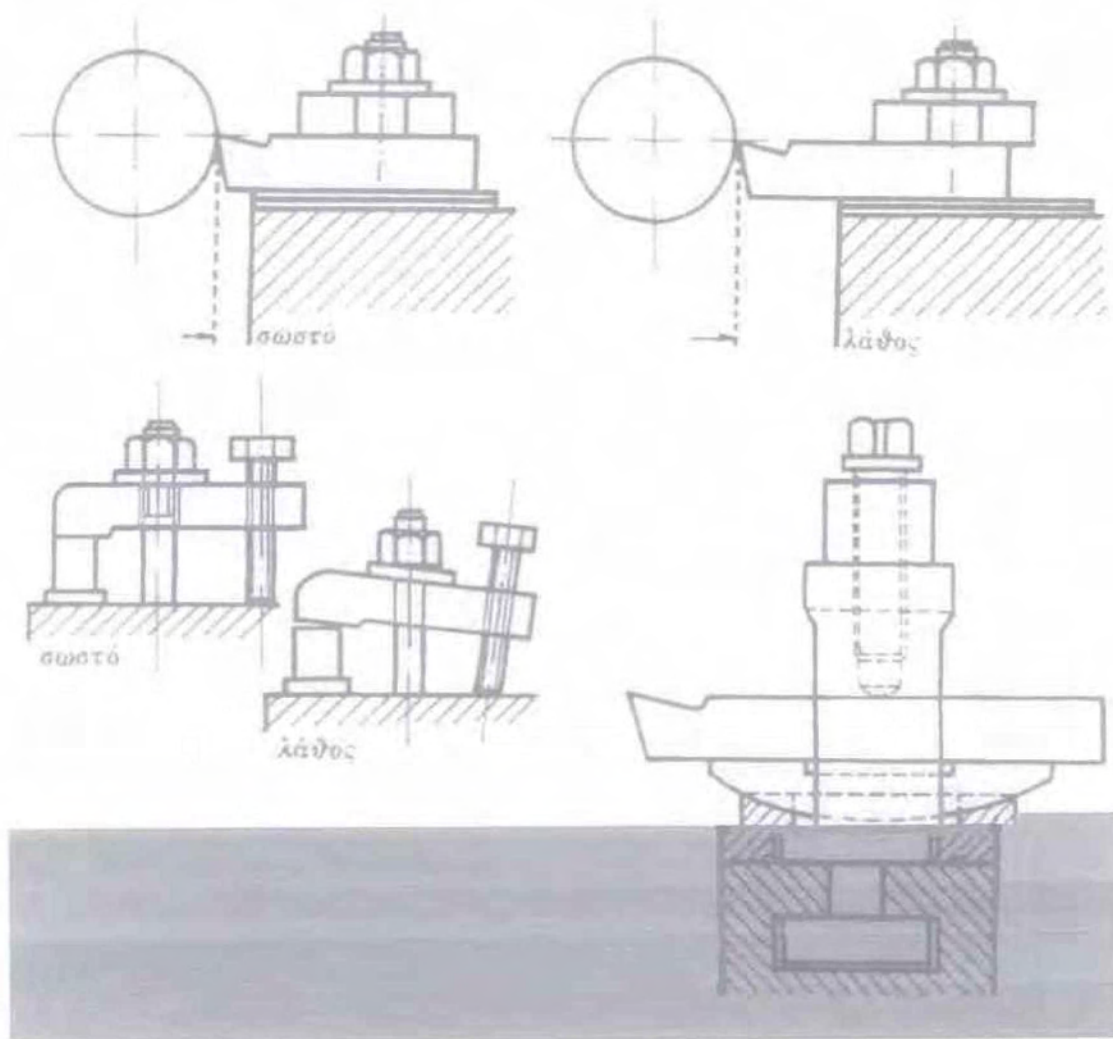
- Πρέπει η περιοχή εργασίας του τórνου να είναι καθαρή από εργαλεία ή ο,τιδήποτε άλλο.
- Δεν πρέπει να κατεργάζονται μεγάλοι μήκους κομμάτια χωρίς την υποστήριξη του κεντροφορέα.
- Τα απόβλιττα δεν πρέπει ποτέ να απομακρύνονται με το χέρι αλλά με ειδική βούρτσα και ποτέ όταν ο τórνος είναι σε λειτουργία.
- Πριν ο τórνος τεθεί σε λειτουργία πρέπει να γίνεται μια πλήρη περιστροφή του τσοκ με το χέρι ώστε να ελέγχεται αν η κίνησή του εμποδίζεται από ο,τιδήποτε μπορεί να υπάρχει πάνω στον τórνο.
- Ο τórνος πρέπει να σταματά αμέσως μόλις ακουστεί οποιοσδήποτε ασυνήθιστος θόρυβος ή παρουσιαστεί ταλάντωση και αμέσως να ενημερώνεται ο υπεύθυνος.
- Ο τórνος δεν πρέπει ποτέ να σταματά με αντιστροφή της περιστροφής του τσοκ.
- Κατά τον χειρισμό του τórνου ο υπεύθυνος και ο μόνος που έχει την δυνατότητα να τον θέσει ή όχι σε λειτουργία είναι ο χειριστής του και για αυτό πρέπει πάντα να έχει την προσοχή του μόνο στον τórνο.

Η συγκράτηση του κοπτικού εργαλείου στον εργαλειοδέτη, παραπάνω ή παρακάτω από το άξονα περιστροφής του τεμαχίου, διαφοροποιεί τις γωνίες κοπής. Έτσι :

- η τοποθέτηση πάνω από τον άξονα του τεμαχίου μικραίνει την γωνία ελευθερίας α , με αποτέλεσμα να μεγαλώνει η τριβή ανάμεσα στην ελεύθερη επιφάνεια του κοπτικού εργαλείου και στην κατεργαζόμενη επιφάνεια του τεμαχίου. Η γωνία αποβλίπτου γ μεγαλώνει και το παραγόμενο απόβλιττο διαχωρίζεται εύκολα και απομακρύνεται. Για κατεργασία εκχονδρίσεως το κοπτικό εργαλείο περιστασιακά τοποθετείται πάνω από τον άξονα του τεμαχίου, γύρω στο 2 % της διαμέτρου του.
- η τοποθέτηση κάτω από τον άξονα του τεμαχίου μεγαλώνει την γωνία ελευθερίας α , με αποτέλεσμα να μικραίνει η τριβή ανάμεσα στην ελεύθερη επιφάνεια του κοπτικού εργαλείου και στην κατεργαζόμενη επιφάνεια του τεμαχίου. Η γωνία αποβλίπτου γ μικραίνει και το παραγόμενο απόβλιττο αποχωρίζεται δύσκολα. Το κοπτικό εργαλείο, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3. 7, πρέπει να συγκρατείται ώστε το ελεύθερο μήκος του να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο. Αυτό κρίνεται αναγκαίο, μια και το εργαλείο κατά την διάρκεια της κοπής, υπόκειται σε λυγισμό. Αν το ελεύθερο μήκος του εργαλείου είναι μεγαλύτερο από το επιτρεπτό, αυτό αναπηδά κατά την κοπή και δημιουργεί πολύ κακή επιφάνεια στο κατεργαζόμενο τεμάχιο.

Επίσης πολύ σημαντική παράμετρος για την ασφάλεια κατά την κοπή, είναι και η σωστή τοποθέτηση της πλάκας συγκρατήσεως. Η πλάκα συγκρατήσεως δεν πρέπει να συσφίγγεται πλάγια αλλά σε οριζόντια θέση, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.2. Η λανθασμένη τοποθέτησή της εγκυμονεί κινδύνους για τον χειριστή αλλά και δεν προκύπτει ακριβής κατεργασία.

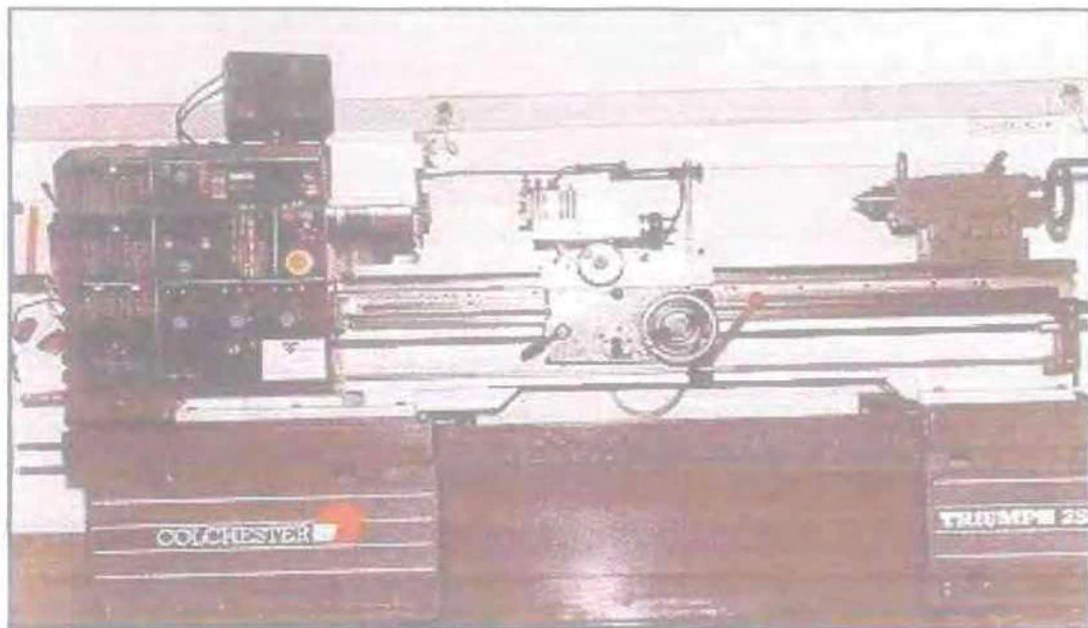
Προσοχή : Τα κοπτικά εργαλεία δεν πρέπει να "δένονται" στον εργαλειοδέτη ενώ ο τόρνος βρίσκεται σε λειτουργία και το τσοκ περιστρέφεται.



Σχήμα 2.2 Τρόπος συγκράτησης κοπτικών εργαλείων τόννευσης

Παρουσίαση της εναλειτουργηγανής και χαρακτηριστικά μενέθη της

Οι κοπές των δοκιμών πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Μηχανουργικών Κατεργασιών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Χρησιμοποιήθηκε συμβατικός τόρνος τύπου TRIUMPH 2500 της εταιρίας COLCHESTER (Σχ.2.3).



Σχ.2.3: Συμβατικός τόρνος.

Τα κυριότερα γεωμετρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (2.2):

Τεχνικά χαρακτηριστικά του συμβατικού τόρνου.

Απόσταση μεταξύ των κέντρων	L=1250 mm
Ύψος κέντρων	H=195 mm
Ονομαστική ισχύς	Pe=7,5KW(10HP)
Εύρος περιστροφικών ταχυτήτων ανάλογα με την επιλεγόμενη κλίμακα	15-300 στροφές /λεπτό
	35-830 στροφές /λεπτό
	110-2500 στροφές /λεπτό

Εύρος προώσεων	S=0,036-1,2 mm /στροφή
Καθαρό βάρος	G=1500Kg
Χώρα προέλευσης	UK
Ύψος μηχανής (από το έδαφος έως το κέντρο περιστροφής)	1050 mm
Ολικό μήκος	2500 mm
Ολικό πλάτος	1100 mm
Ολικό ύψος	1300 mm

Πίνακας 2.2

2.1.2 ΚΟΠΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ (CUTTING TOOLS)

Για την κοπή στην τόννευση χρησιμοποιούνται κοπτικά εργαλεία συνήθως από χάλυβα εργαλείων, ταχυχάλυβα, σκληρομέταλλα και κεραμικά. Η διάρκεια ζωής ενός κοπτικού εργαλείου εξαρτάται κατά πολύ από το υλικό από

το οποίο είναι φτιαγμένο και από την γεωμετρία της κόψης του. Οι ιδιότητες που πρέπει να έχει ένα κοπτικό

εργαλείο συνοψίζονται στα παρακάτω :

- μεγάλη σκληρότητα, ώστε να μπορεί το εργαλείο να εισχωρεί στο μαλακότερο κατεργαζόμενο

τεμάχιο

- αντίσταση στην θερμότητα, ώστε να διατηρεί την σκληρότητά του στις υψηλές θερμοκρασίες που

αναπτύσσονται κατά την κοπή και

- αντίσταση σε φθορά, ώστε η κοπτική ακμή του να διατηρεί τις κοπτικές ιδιότητές της.

Στο κοπτικό εργαλείο διακρίνονται δύο χαρακτηριστικά τμήματα, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2,4, το στέλεχος

(shank) και το κοπτικό άκρο (tool point). Το μεν στέλεχος χρησιμοποιείται για την συγκράτηση του εργαλείου

στον εργαλειοδέκτη, ενώ το κοπτικό άκρο περιλαμβάνει τις κοπτικές ακμές που συμμετέχουν στην κοπή. Το

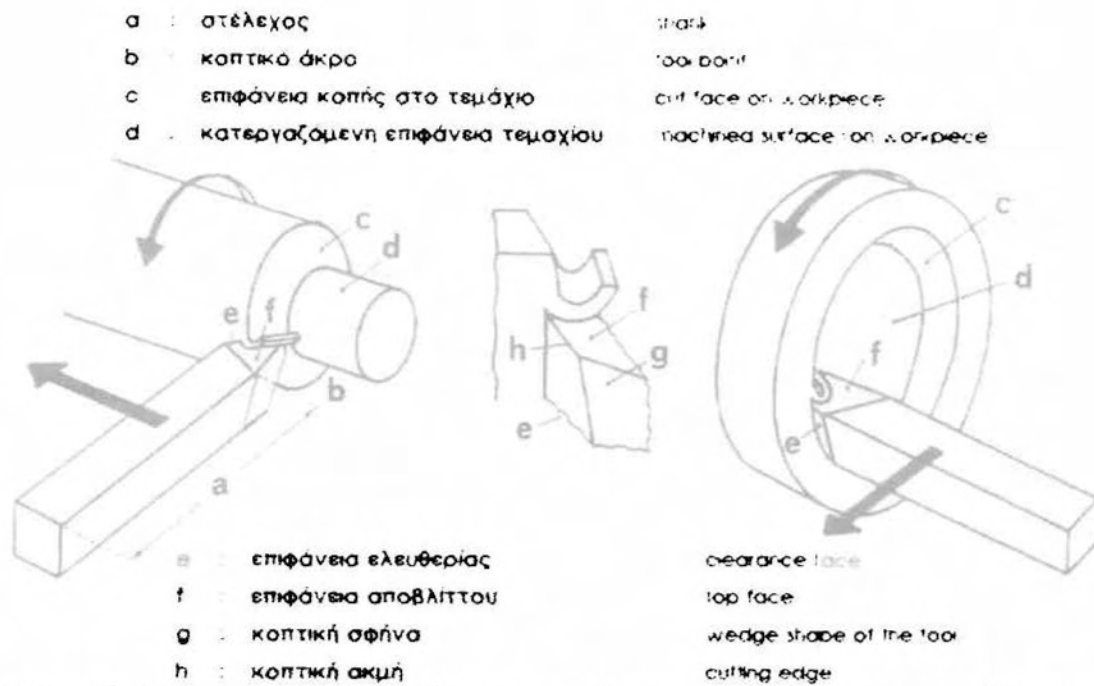
στέλεχος είναι από μαλακό υλικό ώστε να δέχεται τα κρουστικά φορτία και τις δυναμικές καταπονήσεις κατά την

διάρκεια της κοπής χωρίς να θραύεται.

Μια επίπεδη τομή του κοπτικού άκρου έχει το σχήμα σφήνας ή οποία ονομάζεται και κοπτική σφήνα (wedge

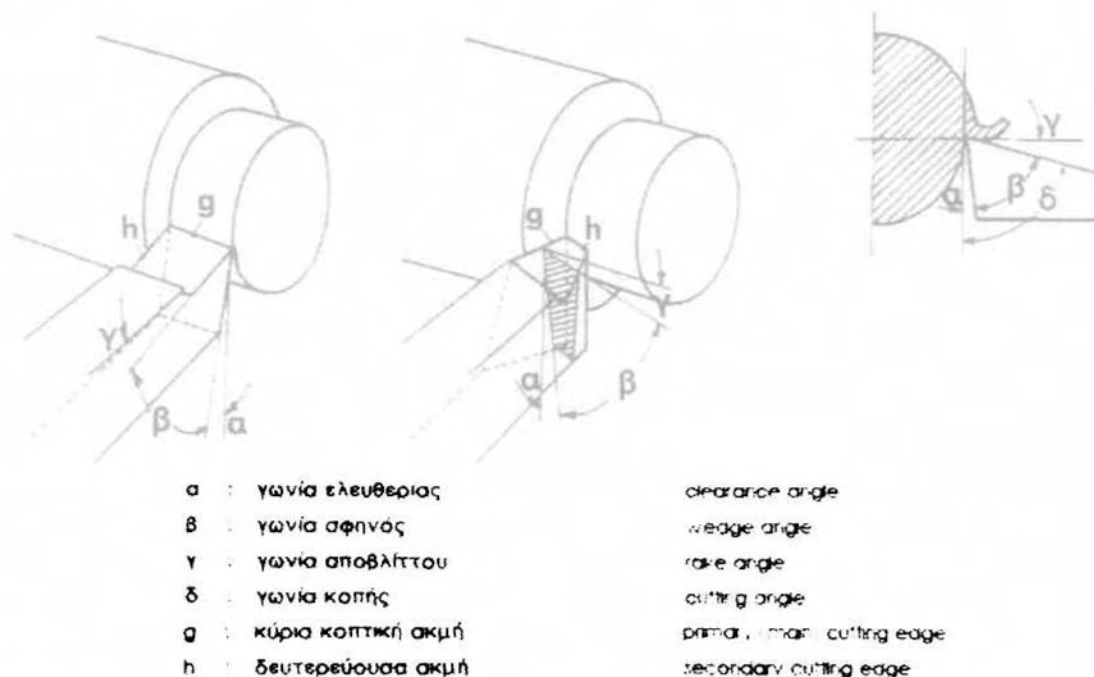
shape of the tool). Στο ίδιο σχήμα 2,4 παρουσιάζονται γενικά, οι χαρακτηριστικές επιφάνειες και ακμές του

εργαλείου και του κατεργαζόμενου τεμαχίου κατά την τόννευση.



Σχήμα 2.4 Χαρακτηριστικές ακμές και επιφάνειες εργαλείου και τεμαχίου στην τórνευση

Η γεωμετρία του κοπτικού εργαλείου καθορίζεται από τις κοπτικές γωνίες του. Στο σχήμα 2.5 φαίνονται οι χαρακτηριστικές επιφάνειες, ακμές και γωνίες ενός κοπτικού εργαλείου τórνευσης οι οποίες είναι :



Σχήμα 2.5 Χαρακτηριστικές γωνίες κοπτικού εργαλείου τórνευσης

Οι γωνίες κοπής που προαναφέρθηκαν, επηρεάζουν σημαντικά τα αποτελέσματα της κοπής (ποιότητα επιφάνειας, τραχύτητα κ.λπ) και εξαρτώνται από το υλικό που πρόκειται να κατεργαστεί. Έτσι για να αποφευχθεί θραύση της κοπτικής ακμής στην κατεργασία σκληρών υλικών, επιλέγεται μεγάλη γωνία σφηνός. Η γωνία ελευθερίας κρατείται τόση ώστε να μην δημιουργείται τριβή ανάμεσα στην επιφάνεια ελευθερίας και την κατεργαζόμενη επιφάνεια του τεμαχίου ενώ η μεγάλη γωνία αποβλίπτου βοηθά στην καλύτερη ροή του αποβλίπτου και κατά συνέπεια στην διαδικασία της κοπής. Η γωνία αποβλίπτου όμως δεν μπορεί να μεγαλώνει τυχαία μια και επηρεάζει την γωνία σφηνός. Αυτό σημαίνει πως ανάμεσα στις κοπτικές γωνίες του εργαλείου υπάρχει αλληλεξάρτηση και πρέπει να γίνεται βέλτιστη επιλογή τους. Οι κατάλληλες αυτές γωνίες για τον συνδυασμό υλικό κοπτικού εργαλείου - υλικό κατεργαζόμενου τεμαχίου, προκύπτουν μετά από συστηματικά πειράματα. Σήμερα υπάρχουν αρκετά τέτοια αποτελέσματα που προτείνουν γωνίες κοπής ανάλογα το υλικό που πρόκειται να κατεργαστεί. Γενικά όμως ισχύουν τα παρακάτω :

- σκληρό υλικό απαιτεί μεγάλη γωνία σφηνός
- μαλακό υλικό απαιτεί μεγάλη γωνία αποβλίπτου

Στο σχήμα 2,6, δίνεται ένας πίνακας με ενδεικνυόμενες τιμές για τις τρεις γωνίες κοπής για κοπτικά εργαλεία από ταχυχάλυβα (HSS) και καρβίδια

ΤΑΧΥΧΑΛΥΒΑΣ HSS			ΥΛΙΚΟ	ΚΑΡΒΙΔΙΑ		
α °	β °	γ °		α °	β °	γ °
8	68	14	ΧΑΛΥΒΑΣ ΕΣΣ 70 Kg/cm ²	5	75	10
8	72	10	ΧΥΤΟΧΑΛΥΒΑΣ ΕΣΣ 90 Kg/cm ²	5	78	6
8	60	14	ΧΑΛΥΒΟΚΡΑΜΑΤΑ ΕΣΣ 85 Kg/cm ²	5	75	10
8	72	10	ΧΑΛΥΒΟΚΡΑΜΑΤΑ ΕΣΣ 100 Kg/cm ²	5	77	8
8	72	10	ΕΛΑΤΟΣ ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΣ	5	75	10
8	82	0	ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΣ	5	85	0
8	64	18	ΧΑΛΚΟΣ	8	64	18
8	82	0	ΟΡΕΙΧΑΛΚΟΣ	5	79	6
12	48	30	ΚΑΘΑΡΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	12	48	30
12	64	14	ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ ΧΥΤΕΥΣΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΚΡΑΜΑΤΑ	12	60	18
8	76	6	ΚΡΑΜΑΤΑ ΜΑΓΝΗΣΙΟΥ	5	78	6
12	64	14	ΜΩΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	12	64	14
12	68	10	ΣΚΛΗΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟ ΣΚΛΗΡΟ ΚΑΡΤΙ	12	88	10
-	-	-	ΠΟΡΕΣΛΑΝΗ	5	85	0

Σχήμα 2.6 Τιμές αναφοράς για γωνίες κοπής σε τórνευση με σκληρομέταλλα και ταχυχάλυβα

Εκτός από τις τρεις βασικές γωνίες κοπής, υπάρχουν και άλλες τρεις γωνίες, σημαντικές για την κατεργασία της

τόρνευσης. Οι γωνίες αυτές που παρουσιάζονται στο σχήμα 2.7, είναι οι παρακάτω :

- γωνία τοποθέτησης κ : ορίζεται ανάμεσα στην κύρια κοπτική ακμή και στην κατεργαζόμενη

επιφάνεια. Όταν η γωνία κ είναι μεγάλη το πάχος του αποβλίπτου είναι μικρό αλλά η κατανομή της

φόρτισης στο εργαλείο γίνεται σε μια πολύ μικρή περιοχή του. Αυτό έχει σαν συνέπεια την ελάττωση

του χρόνου ζωής του κοπτικού εργαλείου. Μια μικρή γωνία κ ισοδυναμεί με πιο παχύ απόβλιπτο για

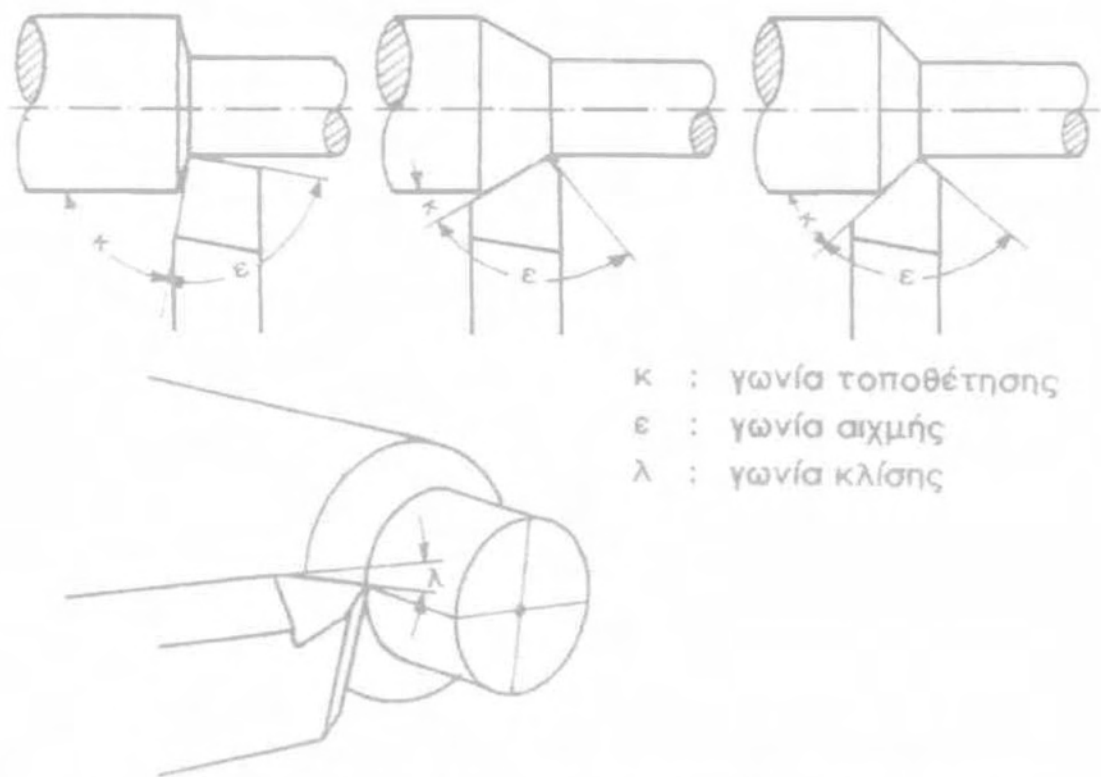
το ίδιο βάθος κοπής αλλά η διάρκεια ζωής του εργαλείου μεγαλώνει. Συνήθως η γωνία κ λαμβάνεται

45° .

- γωνία αιχμής ϵ : ορίζεται ανάμεσα στην κύρια και δευτερεύουσα κόψη του εργαλείου. Συνήθως είναι

γύρω στις 90° , ενώ εργαλεία με μικρή γωνία αιχμής ϵ γρήγορα γίνονται ιδιαίτερα μυτερά.

- γωνία κλίσης λ : η γωνία αυτή προσδιορίζει την θέση της κύριας κοπτικής ακμής ως προς την οριζόντια θέση. Η ακμή αυτή μπορεί να λαμβάνει θέση οριζόντια ή με κλίση. Για τόρνευση εκχονδρίσματος, η κλίση της κύριας κόψης αποδεικνύεται ευνοϊκή μια και το απόβλιπτο ρέει ευκολότερα. Η γωνία κλίσης λ για εργαλεία εκχονδρίσματος λαμβάνει τιμές περίπου από 3° έως 5° .



Σχήμα 2.7 Χαρακτηριστικές γωνίες τοποθέτησης κοπτικού εργαλείου τόρνευσης

Ανάλογα την μορφή και το είδος της τόννευσης απαιτούνται και διαφορετικά κοπτικά εργαλεία ως προς τη μορφή και την γεωμετρία τους. Έτσι ειδικής μορφής εργαλεία χρησιμοποιούνται για εκχόνδριση, άλλα για φινίρισμα και για κοπή σπειρώματος, άλλα για boring κ.λπ.. Όπως κάθε κοπτικό εργαλείο έτσι και τα κοπτικά εργαλεία της τόννευσης έχουν περιορισμένο χρόνο ζωής. Λέγοντας ζωή του εργαλείου εννοείται ο χρόνος που το εργαλείο μπορεί να συνεχίζει να κόβει χωρίς να χρειαστεί επανατροχισμό ή να απορριφθεί. Τα κριτήρια σύμφωνα με τα οποία ένα εργαλείο κρίνεται προς απομάκρυνση καλούνται κριτήρια αστοχίας. Στην πράξη κριτήρια αστοχίας μπορεί να είναι :

- η ανώτερη επιτρεπτή τιμή για το πλάτος ζώνης φθοράς B, ή για το βάθος κρατήρα ΚΤ ή και για τα δύο μαζί,
- η ανώτερη τιμή της τραχύτητας της κατεργασμένης επιφάνειας,
- η επιτρεπόμενη ανοχή διαστάσεων στο κατεργασμένο τεμάχιο,
- το προκαθορισμένο μέγιστο ποσοστό αύξησης των δυνάμεων κοπής ή της ισχύος κοπής,
- η στόμωση του εργαλείου.

Οι παράγοντες που επιδρούν σημαντικά στην ζωή του κοπτικού εργαλείου είναι :

- οι συνθήκες κοπής (ταχύτητα κοπής, πρόωση και βάθος κοπής),
- η γεωμετρία του εργαλείου,
- το υλικό του εργαλείου,
- το κατεργαζόμενο υλικό,
- το υγρό κοπής.

Η βέλτιστη επιλογή των παραγόντων αυτών οδηγεί σε μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του κοπτικού εργαλείου με αποτέλεσμα την οικονομικότερη κατεργασία.

2.1.3 ΔΥΝΑΜΟΜΕΤΡΟ

Το δυναμόμετρο που χρησιμοποιούμε είναι της εταιρείας KISTLER και τύπου CH-8408 (σχήμα 2,8). Υπολογίζει τις 3 δυνάμεις κοπής : την κύρια δύναμη κοπής, τη δύναμη προώσεως και τη δύναμη απωθήσεως. Στον πίνακα 2.3 παρουσιάζονται οι προδιαγραφές του δυναμομέτρου.



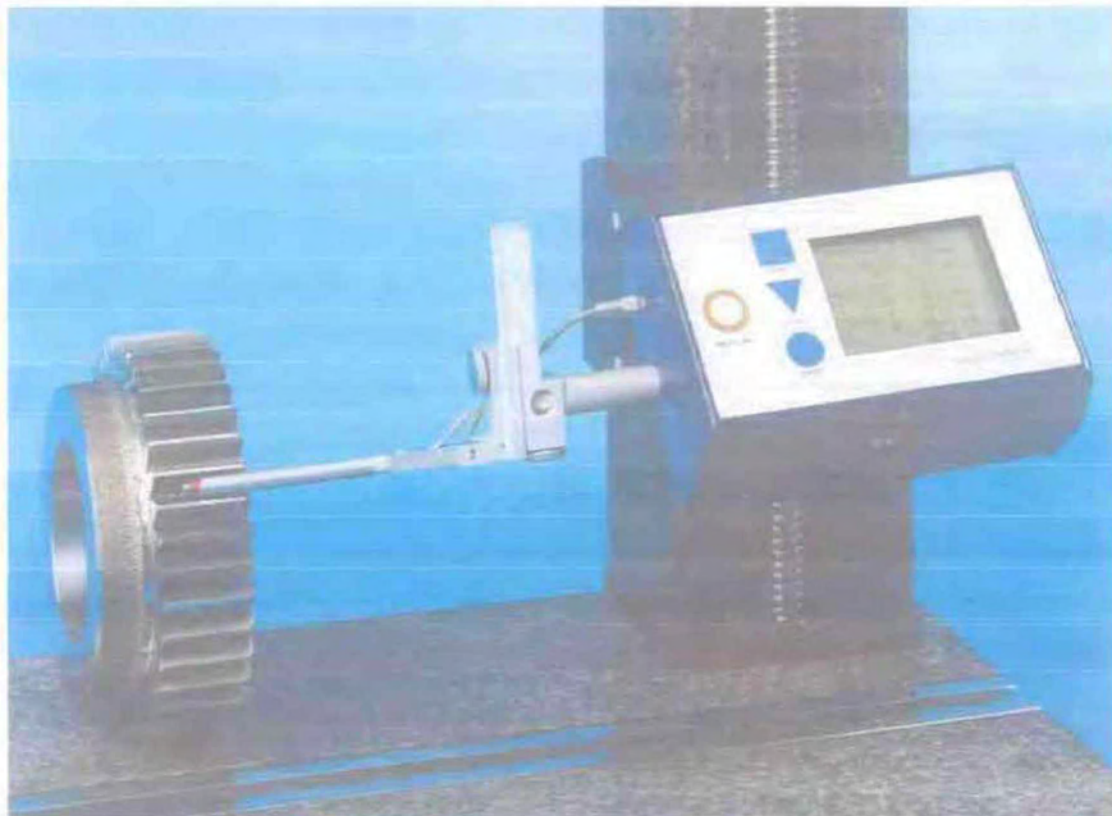
Σχήμα 2.8 Δυναμόμετρο KISTLER CH-4208

Measuring Range	Fx, Fy	kN	±5
	Fz	kN	-5...20
	Mz	N·m	±200
Sensitivity	Fx, Fy	pC/N	≈-7.8
	Fz	pC/N	≈-3.5
	Mz	pC/N·cm	≈-1.6
Natural Frequency	fnx, fny	kHz	≈3.1
	fnz	kHz	≈6.3
	fn (Mz)	kHz	≈4.2
Height		mm	70
Diameter		mm	100
Inner diameter		mm	15

Πίνακας 2.3 Προδιαγραφές δυναμομέτρου

2.1.4 Παρουσίαση του Τραχυμέτρου και των χαρακτηριστικών του.

Οι μετρήσεις έγιναν σε μηχανικό τραχύμετρο στυλίσκου τύπου Sutronic 25 της εταιρίας RANK TAYLOR HOBSON LIMITED (Σχ.9).



Σχ.2.9. Τραχύμετρο Sutronic 25

Το βασικό χαρακτηριστικό των προφιλόμετρων είναι το μήκος κύματος αποκοπής. Αυτό επιλέγεται ανάλογα με την κατεργασία κοπής που έχει προηγηθεί όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα 2.4:

Κατεργασία αποπεράτωσης	Αναμενόμενο εύρος τιμών Ra	Προτεινόμενο μήκος cut-off		
		0,25mm	0,8μm	2,5μm
Υπερλείανση	0,05-0,2 μm	*	*	
Lapping	0,05-0,4 μm	*	*	
Honing	0,1-0,8 μm	*	*	
Ακόνισμα	0,1-1,6 μm	*	*	*
Τόρνευση με διαμάντι	0,1-0,4 μm	*	*	
Τόρνευση	0,4-12,3 μm		*	*
Διάτρηση	0,4-12,3 μm		*	*
Φραιζάρισμα	0,8-12,3 μm		*	*

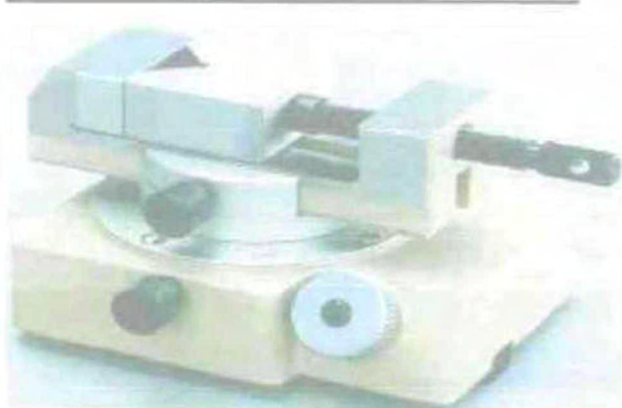
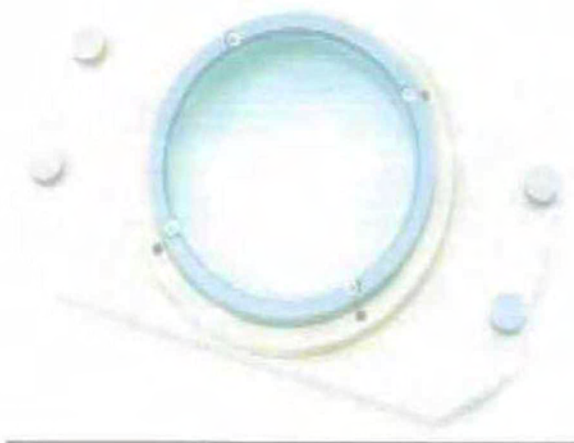
Πίνακας 2.4 Χαρακτηριστικά τραχυμέτρου Sutronic 25

Talyscope

Για την επεξεργασία των μετρήσεων, που έγιναν στο προφیلόμετρο, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Talyscope της εταιρίας RANK TAYLOR HOBSON LIMITED. Το προφیلόμετρο και ο υπολογιστής ήταν συνδεδεμένα κατάλληλα έτσι ώστε το ηλεκτρικό σήμα του πρώτου να είναι η είσοδος στο δεύτερο.

2.1.5 Μέτρηση φθοράς ένθετου πλακιδίου

Η φθορά των κοπτικών εργαλείων μετρήθηκε με τη βοήθεια μηχανουργικού οπτικού μικροσκοπίου μάρκας **Mitutoyo** (σχήμα 2.10 και 2.11). Πιο συγκεκριμένα μετρήθηκαν οι διαστάσεις (a και b) του κρατήρα φθοράς.(Σχ.2.12).



Σχήμα 2.10 και 2.11 Μικροσκόπιο Mitutoyo



Σχ.2.12: Απεικόνιση της

2.2 Διαμηκής τόννευση

Κατά τη διαμηκή τόννευση το τεμάχιο εκτελεί περιστροφική ομοιόμορφη κίνηση γύρω από τον άξονά του, ενώ το εργαλείο μετατοπίζεται ευθύγραμμα και ισοταχώς, παράλληλα προς τον άξονα του τεμαχίου.

Για την αποφυγή βέλους κάμψης και όλων των αρνητικών επιπτώσεων που θα είχε αυτό στην τραχύτητα της επιφάνειας, προσδένουμε το δοκίμιο στο σιαγωνινό σφιγκτήρα (τσοκ) του τόννου, έτσι ώστε να εξέχει από αυτόν ένα σταθερό μήκος περίπου ίσο με 200 mm. Μετά από κάθε κατεργασία το τεμάχιο μεταφέρονταν στη βάση του τραχυμέτρου όπου και τοποθετούνταν κατάλληλα έτσι ώστε να αποφεύγεται η επαφή της νεοκατεργασμένης επιφάνειας με ό,τι θα μπορούσε να προκαλέσει φθορά και επομένως αλλοίωση των αποτελεσμάτων. Πριν από κάθε διαδικασία μέτρησης ακολουθούσαμε τα παρακάτω βήματα:

1. Η προς μέτρηση επιφάνεια δεν υφίστατο καμία ταλάντωση και το όργανο ήταν απόλυτα σταθερό κατά τη διάρκεια της μέτρησης
2. Πάντα ο στυλίσκος τοποθετούνταν κατά τέτοιο τρόπο ώστε να είναι κάθετος προς τη μετρήσιμη επιφάνεια.
3. Ο βραχίονας του τραχυμέτρου ήταν πάντα παράλληλος προς τη μετρήσιμη επιφάνεια.
4. Η μέτρηση γίνονταν πάντα σε κατεύθυνση παράλληλη προς τον άξονα του τεμαχίου (διεύθυνση πρόωσης).

Για λειτουργικούς λόγους η ταχύτητα κοπής έπρεπε να μετατραπεί σε στροφές ανά λεπτό N (rpm). Αυτό έγινε με τη χρήση του γνωστού τύπου:

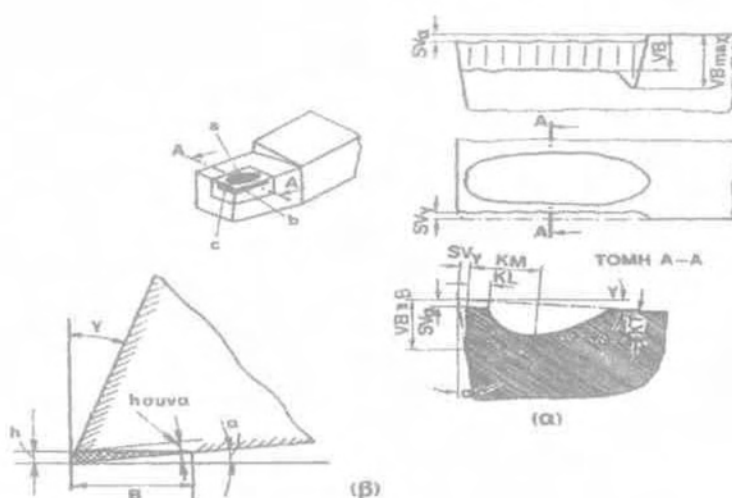
$$U = \pi D N / 1000 \quad (1)$$

2.3Φθορά του εργαλείου κοπής

Κατά την κοπή των μετάλλων, το κοπτικό εργαλείο υπόκειται σε υψηλές θερμοκρασίες, των οποίων η διανομή παρουσιάζει απότομες τοπικές μεταβολές, όπως και σε υψηλές τάσεις. Ακόμα, η νεοσχηματιζόμενη επιφάνεια του αποβλήτου και του κομματιού επάνω στις οποίες τρίβεται το εργαλείο δεν προφθάνουν να οξειδωθούν ή να σκεπασθούν από άλλα στρώματα και κατά συνέπεια μπορούμε να δεχθούμε ότι υφίσταται καθαρή μεταλλική επαφή ανάμεσα στο εργαλείο και στο απόβλητο και ανάμεσα στο εργαλείο και στο κομμάτι. Περιορίζεται βέβαια σημαντικά αυτή η μεταλλική επαφή με χρήση τέτοιου υγρού κοπής, που να μπορεί να δράσει ως λιπαντικό. Κάτω από τις πολύ δυσμενείς αυτές συνθήκες εργασίας του, το κοπτικό εργαλείο φθείρεται ή και αστοχεί.

Η αστοχία ενός εργαλείου οφείλεται σε μία ή σε συνδυασμό των παρακάτω αιτιών:

1. Στην ανάπτυξη **ζώνης φθοράς** στην ελεύθερη επιφάνεια του εργαλείου
2. Στη δημιουργία φθοράς επάνω στην επιφάνεια αποβλήτου του εργαλείου, την οποία καλούμε **φθορά κρατήρα** λόγω της μορφής την οποία παίρνει.
3. Στην απολέπιση του εργαλείου στην κόψη του και στην επιφάνεια αποβλήτου κατά τον τεμαχισμό της ψευδόκοπης και γενικότερα εξαιτίας δημιουργίας συγκολλητών μικροδεσμών.
4. Μικροθραύσεις στην κόψη εξαιτίας μηχανικών τάσεων ή κρούσεων.
5. Πλαστική παραμόρφωση της ακής του κοπτικού εργαλείου, από τις υψηλές θερμοκρασίες και τάσεις, που επικρατούν στην περιοχή αυτή.
6. Δημιουργία ρωγμών, λόγω μεγάλων διαφορών θερμοκρασίας.
7. Θραύση της ακής του εργαλείου, που οφείλεται κυρίως σε επιβολή κρουστικών φορτίων.



Σχ.2.13:Γεωμετρικά χαρακτηριστικά της ζώνης φθοράς και της φθοράς κρατήρα

Από τις αναφερθείσες αιτίες αστοχίας των κοπτικών εργαλείων οι δύο πρώτες δεν είναι δυνατό να αποφευχθούν, οποιαδήποτε μέτρα και αν ληφθούν και πρακτικώς τα δύο αυτό είδη φθοράς αποτελούν αύξουσα συνεχή συνάρτηση του χρόνου κοπής. Το κοπτικό εργαλείο, συνεπώς, φθείρεται προοδευτικά στην επιφάνεια αποβλήτου και στην ελεύθερη επιφάνειά του μέχρι να αστοχήσει. Οι υπόλοιπες αιτίες αστοχίας δεν είναι δυνατόν να αποτελέσουν, προς το παρών, κριτήρια αστοχίας, λόγω ανεπαρκούς γνώσεως της πολύπλοκης εξαρτήσεώς τους από βασικές μεταβλητές και παραμέτρους της κοπής των μετάλλων.

Το είδος της κατεργασίας, οι συνθήκες κατεργασίας, η γεωμετρική μορφή του κοπτικού εργαλείου, ο συνδυασμό υλικών τεμαχίου-εργαλείου και το είδος του υγρού κοπής καθορίζουν τη μορφή και το μέγεθος της φθοράς των κοπτικών εργαλείων. Η φθορά κρατήρα και η ζώνη φθοράς επηρεάζουν τη λειτουργία του κοπτικού εργαλείου κατά διάφορους τρόπους. Οι δυνάμεις κοπής αυξάνονται εν γένει με την πρόοδο της φθοράς. Η φθορά κρατήρα εν τούτοις, υπό ορισμένες συνθήκες, έχει ως αποτέλεσμα ελάττωση των δυνάμεων κοπής, λόγω αυξήσεως της γωνίας αποβλήτου του εργαλείου. *Η ζώνη φθοράς πάντοτε, συμβάλλει στην αύξηση των δυνάμεων κοπής, από την αύξηση της δυνάμεως τριβής στην επιφάνεια επαφής εργαλείου-τεμαχίου. Η τραχύτητα επιφανείας γενικά χειροτερεύει, καθώς το εργαλείο φθείρεται στην ελεύθερη του επιφάνεια.*

Η ζώνη φθοράς μεταβάλλει τη γεωμετρία του εργαλείου, με αποτέλεσμα να επηρεάζει τη διαστατική ακρίβεια του τεμαχίου ή την ακρίβεια μορφής του, όταν αυτό κατεργάζεται με εργαλείο μορφής ή προκύπτει από γένεση. Η δυναμική συμπεριφορά του συστήματος εργαλείο-τεμάχιο-εργαλειομηχανή επηρεάζεται δυσμενώς από τη φθορά του εργαλείου. Η ζώνη φθοράς αυξάνει την τάση του κοπτικού εργαλείου για δυναμική αστάθεια. Κατεργασία κοπής, για παράδειγμα, που είναι απαλλαγμένη από ταλαντώσεις, όταν το κοπτικό εργαλείο είναι οξύ, είναι δυνατό να εμπλακεί σε απαράδεκτες ταλαντώσεις, όταν αυτό φθείρεται.

Παρακάτω αναφέρονται οι παράγοντες που επιδρούν στη ζωή του εργαλείου:

1. Οι συνθήκες κοπής (ταχύτητα κοπής, πρόωση, βάθος κοπής).
2. Η γεωμετρία του κοπτικού εργαλείου.
3. Το υλικό του εργαλείου.
4. Το υλικό του τεμαχίου.
5. Το υγρό κοπής.
6. Η δυναμική συμπεριφορά του συστήματος εργαλειομηχανή-εργαλείο-τεμάχιο.
7. Ο τρόπος προσδέσεως εργαλείου και τεμαχίου.

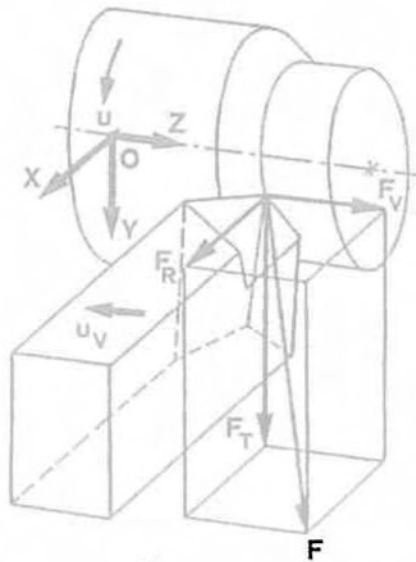
Το σύστημα των δυνάμεων κοπής

Κατά τη διαμήκη τόννευση η δύναμη κοπής αναλύεται σε τρεις διαφορετικές συνιστώσες F_t , F_v και F_r .

Η συνιστώσα F_t είναι η κύρια δύναμη κοπής,

Η συνιστώσα F_v είναι η δύναμη προώσεως ,

και η F_r είναι η δύναμη απωθήσεως του εργαλείου



Σχ. 2.14 Ανάλυση της δύναμης κοπής F στις συνιστώσες F_t , F_v και F_r κατά τη διαμήκη τόννευση

2.4 Παράμετροι μέτρησης της τραχύτητας

Το καθοριστικό στοιχείο της ποιότητας της επιφάνειας είναι η τραχύτητα. Η τιμή της τραχύτητας είναι ένα μέγεθος στοχαστικό, λόγω της μεταβλητότητας της κατεργασίας και του μετροτεχνικού σφάλματος. Ουσιαστικά η τραχύτητα δεν μετρείται, αλλά χαρακτηρίζεται.

Κατά καιρούς έχουν προταθεί διάφορα μέτρα τραχύτητας, που ανήκουν και στα δύο παραπάνω συστήματα, με ποικίλα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Τα παραπάνω, που είναι και παράμετροι μέτρησης της τραχύτητας, μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις ομάδες με κριτήριο τα χαρακτηριστικά του περιγράμματος που ποσοτικοποιούν.

- 1) Παράμετροι εύρους
- 2) Παράμετροι διαστήματος.
- 3) Στατιστικές παράμετροι.
- 4) Άλλες παράμετροι.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται ενδεικτικά ορισμένοι παράμετροι μέτρησης της τραχύτητας. Ενδεχόμενη απόπειρα ορισμού του συνόλου αυτών θα ήταν ανέφικτη, καθώς έχουν προταθεί περισσότερες από εκατό παράμετροι χαρακτηρισμού

της επιφανειακής τοπογραφίας. Οι συγκεκριμένες παράμετροι που αναλύονται, εκτός του ότι είναι από τις πλέον διαδεδομένες και χρήσιμες διεθνώς, είναι και αυτές που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές που ακολουθούν.

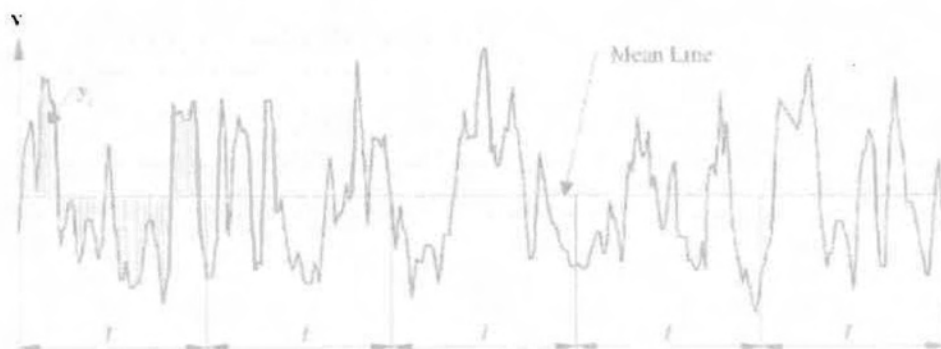
Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι όλες οι παράμετροι που παρουσιάζονται αναφέρονται στην τραχύτητα και για αυτό το λόγο στον ορισμό τους χρησιμοποιείται το γράμμα R (Roughness). Παρόλα αυτά κατά πλήρη αντιστοιχία ορίζονται και οι παράμετροι της κυμάτωσης, οι οποίες χρησιμοποιούν το γράμμα W (waviness), αλλά και οι παράμετροι του αφιλτράριστου περιγράμματος (δηλαδή τραχύτητα συν κυμάτωση), που ξεκινούν με το γράμμα P (Profile).

- **Μέση αριθμητική τραχύτητα Ra**

Η μέση αριθμητική τραχύτητα είναι παράμετρος εύρους και ορίζεται από τη σχέση :

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx$$

Παριστάνει τη μέση τιμή των αποκλίσεων $|y|$ όλων των σημείων της πραγματικής κατατομής από την κεντρική γραμμή μέσα στο δεδομένο δειγματοληπτικό μήκος L (σχήμα 2.14).



Σχήμα 2.15: Ορισμός της μέσης αριθμητικής τραχύτητας Ra.

Πρόκειται για την πλέον διαδεδομένη παράμετρο ποσοτικού χαρακτηρισμού της τραχύτητας δεδομένης επιφάνειας, καθώς ορίζεται και υπολογίζεται εύκολα με άμεση ολοκλήρωση από τα τραχύμετρα. Η γνώση της παρέχει μια χρήσιμη μέση τιμή,

τόσο για τον έλεγχο της συναφής κατεργασίας παραγωγής της επιφάνειας, όσο και για

τη λειτουργική της συμπεριφορά. Όμως δεν δίνει πληροφορίες για το πραγματικό ύψος των ανωμαλιών και δεν έχει ιδιαίτερη φυσική έννοια.

- **Μέση τετραγωνική τιμή της τραχύτητας R_q**

Το μέτρο της R_q ορίζεται από τη σχέση

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L y^2 dx}$$

Πρόκειται ουσιαστικά για την τυπική απόκλιση των αποστάσεων των κορυφών και των εσοχών από τη μέση γραμμή. Είναι περισσότερο ευαίσθητη από την R_a σε περιπτώσεις μεγάλων αποκλίσεων από την κεντρική γραμμή κάτι που αποτελεί μάλλον μειονέκτημα για το γενικό χαρακτηρισμό της επιφάνειας.

- **Μέγιστο ύψος από την κεντρική γραμμή R_p**

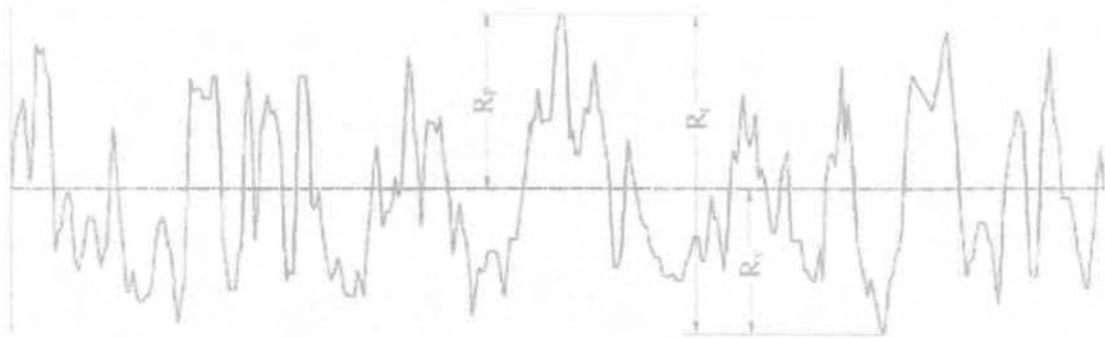
Είναι το μέγιστο ύψος του περιγράμματος από την κεντρική γραμμή εντός του δειγματοληπτικού μήκους (σχήμα 2.16).

- **Μέγιστο βάθος από την κεντρική γραμμή R_v**

Είναι το μέγιστο βάθος του περιγράμματος από την κεντρική γραμμή εντός του δειγματοληπτικού μήκους (σχήμα 2.16).

- **Μέγιστο βάθος R_t**

Είναι η υψομετρική διαφορά της υψηλότερης κορυφής των επιφανειακών ανωμαλιών από τη βαθύτερη κοιλάδα εντός του δειγματοληπτικού μήκους (σχήμα 1.6). Προφανώς ισχύει η σχέση $R_t = R_p + R_v$



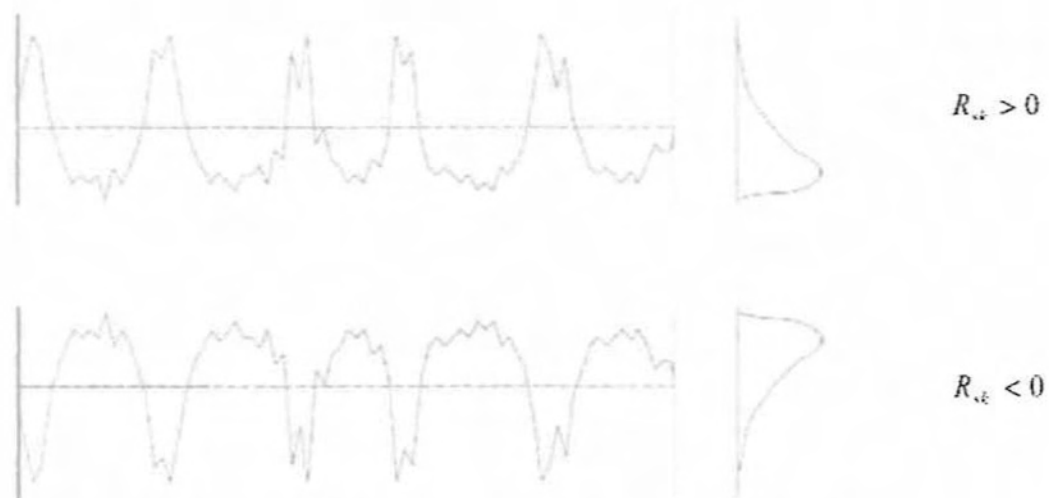
Σχήμα 2.16: Ορισμός των παραμέτρων R_p , R_v και R_t

Το μέγεθος R_t μετρείται πολύ εύκολα, έχει όμως το μειονέκτημα να παρουσιάζει ευαισθησία σε τυχαίες τοπικές ανωμαλίες (π.χ. αμυχή στην επιφάνεια) που βρίσκονται συμπτωματικά μέσα στο μήκος δειγματοληψίας και δεν χαρακτηρίζουν την επιφάνεια.

- **Λοξότητα R_{sk}** Η λοξότητα είναι η τρίτη κεντρική ροπή της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας του περιγράμματος και ορίζεται ως εξής

$$R_{sk} = \frac{1}{R_y^3} \int_{-\infty}^{\infty} y^3 p(y) dy$$

Δίνει το βαθμό ασυμμετρίας του περιγράμματος, όσον αφορά την κεντρική γραμμή, παίρνοντας μηδενική τιμή για περιγράμματα που περιγράφονται από την κανονική κατανομή. Επιπλέον, θετική λοξότητα εμφανίζουν επιφάνειες «άδειες από υλικό», ενώ αρνητική επιφάνειες «γεμάτες από υλικό» (σχήμα 2.17). Πρόκειται για σημαντική παράμετρο όσον αφορά τριβολογικές εφαρμογές, όπως η λειτουργικότητα των επιφανειών έδρασης και ο έλεγχος φθοράς, καθώς επιφάνειες χαρακτηριζόμενες από θετική λοξότητα φθείρονται ταχύτερα κ.λ.π.



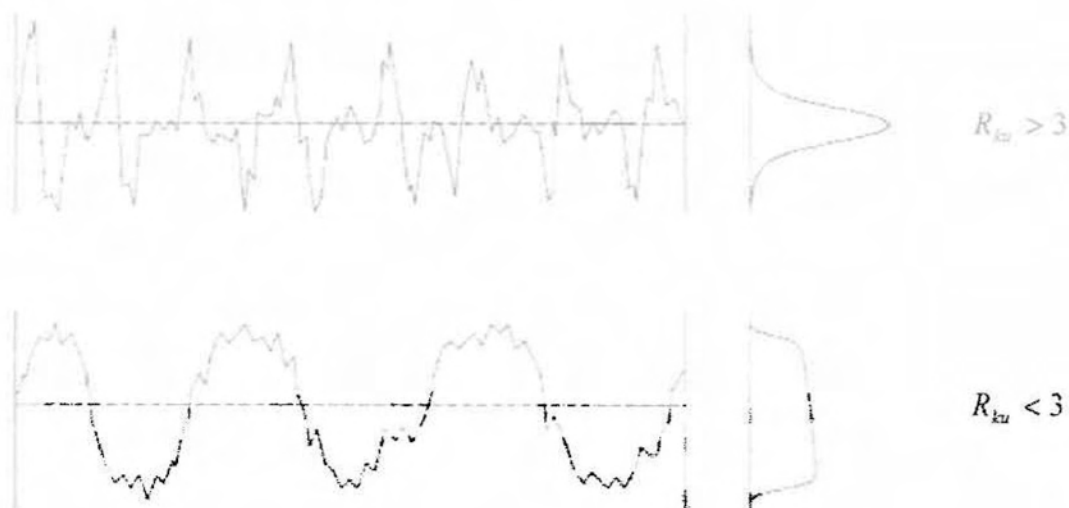
Σχήμα 2.17: Περιγράμματα επιφανειών με θετική και αρνητική λοξότητα

- **Κύρτωση Rku**

Η κύρτωση είναι η τέταρτη κεντρική ροπή της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας του περιγράμματος και ορίζεται από τη σχέση

$$R_{ku} = \frac{1}{R_g^4} \int_{-\infty}^{\infty} y^4 p(y) dy$$

Δίνει το βαθμό οξύτητας του περιγράμματος και λαμβάνει τιμή ίση με 3 για περιγράμματα που ακολουθούν την κανονική κατανομή. Στην περίπτωση όπου $R_{ku} > 3$ η επιφάνεια εμφανίζει οξύτητα προεξοχών και χαρακτηρίζεται ως λεπτόκυρτη, ενώ όταν $R_{ku} < 3$ εμφανίζει αμβλύτητα προεξοχών και χαρακτηρίζεται ως πλατύκυρτη (σχήμα 2.18). Παρέχει δε πληροφορίες για την επιφάνεια επαφής και την αντίσταση της σε φθορά.

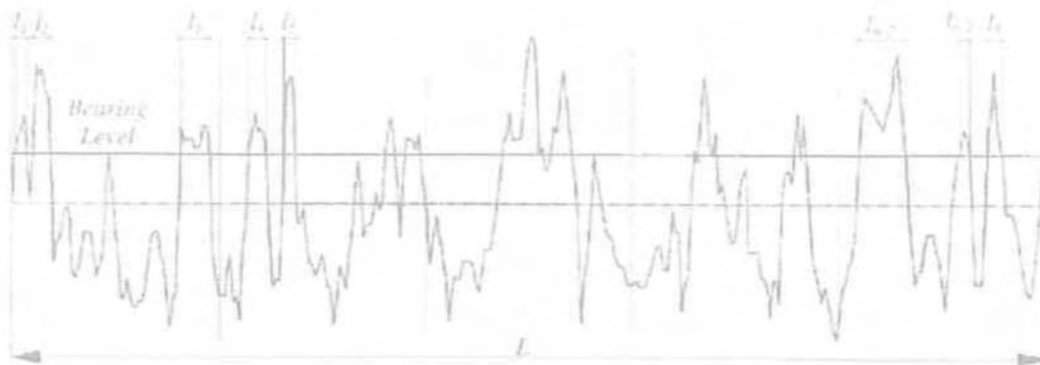


Σχήμα 2.18: Περιγράμματα επιφανειών με κύρτωση μεγαλύτερη και μικρότερη από 3.

- **Μήκος φέρουσας επιφάνειας R_{tp}**

Το μήκος φέρουσας επιφάνειας R_{tp} εκφράζεται ως το ποσοστό του μήκους επαφής προς το υπολογιζόμενο μήκος, για κάθε ύψος περιγράμματος. Από το σχήμα 2.19 είναι προφανές ότι το μήκος φέρουσας επιφάνειας υπολογίζεται από τη σχέση

$$R_{tp} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^n l_i$$



Σχήμα 2.19: Ορισμός του μήκους φέρουσας επιφάνειας R_{tp}

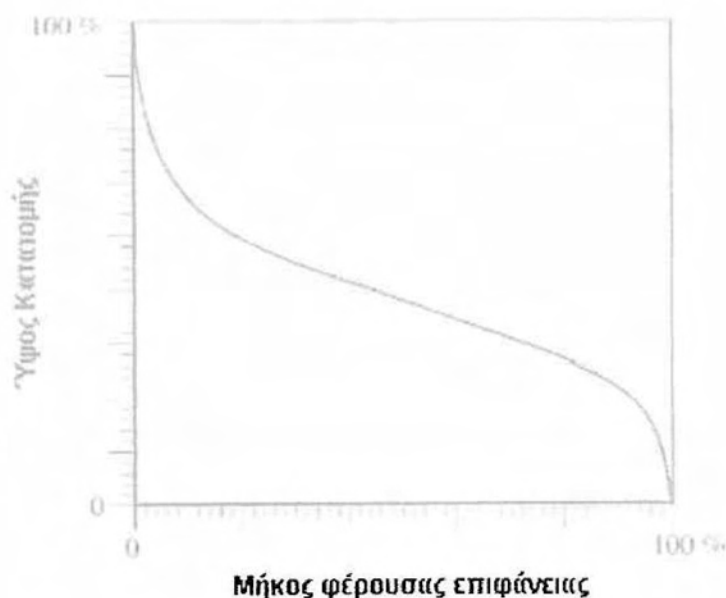
Τα κυριότερα χαρακτηριστικά της παραμέτρου R_{tp} είναι τα παρακάτω.

- Είναι κλάσμα μήκους και όχι μιας περιοχής της επιφάνειας.
- Καθορίζεται από ένα μικρό δείγμα της επιφάνειας και αγνοεί τις ανωμαλίες που μπορεί να οφείλονται στην κυμάτωση.
- Σχετίζεται με την αφόρτιστη επιφάνεια, αλλά στην πράξη η επιφάνεια αυτή μπορεί να υφίσταται ελαστική παραμόρφωση.
- Η φθορά συχνά συνοδεύεται από φυσική διαρροή του υλικού και η γεωμετρική θεώρηση ότι οι κορυφές περικόπτονται ευθύγραμμα είναι μη ρεαλιστική.

Παρόλα αυτά η R_{tp} είναι μια παράμετρος η οποία έχει γίνει ευρέως αποδεκτή στη μηχανολογία, βρίσκοντας αρκετές εφαρμογές σε κρίσιμους τομείς όπως η τριβή, η φθορά κ.α.

Υπολογίζοντας την παράμετρο R_{tp} σε κάθε στάθμη του περιγράμματος προκύπτει η καμπύλη φέρουσας επιφάνειας (bearing area curve ή material ratio curve ή Abbott-Firestone curve) (σχήμα 2.20). Πρόκειται για την καμπύλη που παριστάνει την αθροιστική συχνότητα εμφάνισης ύψους ανωμαλίας μεγαλύτερου από δεδομένη στάθμη

$$P_{(Y>0)} = \int_0^{\infty} p(y) dy$$



Σχήμα 2.20: Η καμπύλη φέρουσας επιφάνειας

Η καμπύλη φέρουσας επιφάνειας, καμπύλη φέρουσας επιφάνειας ονομάζεται έτσι, διότι παριστάνει την πραγματική διατομή του υλικού που υπάρχει σε κάθε ύψος. Η και φέρει κατανεμημένο το εξωτερικά ασκούμενο φορτίο. Συσχετίζεται δε άμεσα με την τριβολογική συμπεριφορά και κυρίως με την πραγματική επιφάνεια επαφής, τη μηχανική αντοχή των κορυφών και τη φθορά.

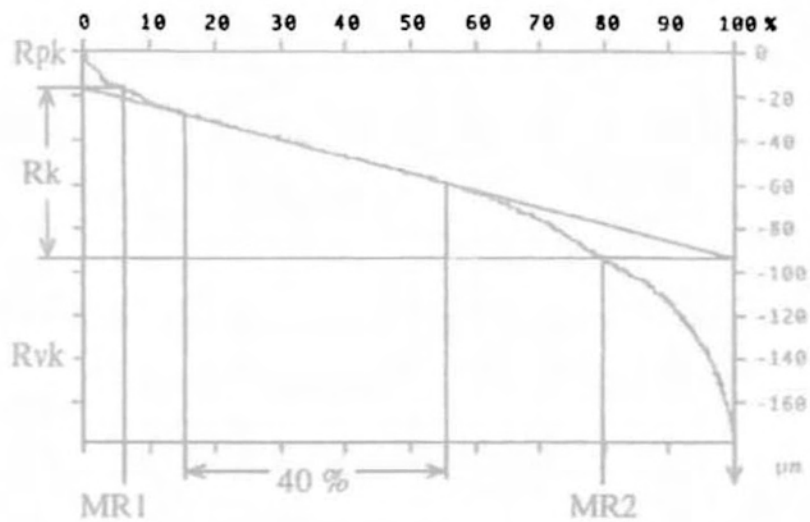
- **Ομάδα παραμέτρων R_k**

Η μορφή της καμπύλης φέρουσας επιφάνειας εμπεριέχει πολλές και σημαντικές πληροφορίες, όσον αφορά την συμπεριφορά του περιγράμματος. Η γερμανική αυτοκινητοβιομηχανία στην προσπάθεια της να μελετήσει κυλίνδρους μηχανών εσωτερικής καύσης δημιούργησε το πρότυπο DIN 4776: 1985 (ή πιο πρόσφατα ISO 13565-2: 1996). Σύμφωνα με το πρότυπο αυτό επιχειρείται τόσο μια γραμμική προσέγγιση της καμπύλης φέρουσας επιφάνειας, όσο και ο ορισμός μιας σειράς παραμέτρων (σχήμα 2.21).

Πιο αναλυτικά αναζητείται εκείνο το ευθύγραμμο τμήμα το οποίο θα έχει μήκος ίσο με το 40% του συνόλου και παράλληλα θα έχει την ελάχιστη κλίση. Με την εύρεση της ευθείας γίνεται και η προέκταση της μέχρις ότου τμήσει τον άξονα. Ορίζονται έτσι οι παρακάτω παράμετροι.

- R_k : Εξομοιώνει τη βασική τραχύτητα, η οποία σχετίζεται με το τμήμα της επιφάνειας το οποίο και θα "φέρει" το φορτίο λειτουργίας, μετά το φαινόμενο "running-in"
- R_{pk} : Αντιστοιχεί στις μικρές κορυφές οι οποίες και θα φθαρούν γρήγορα κατά τη διάρκεια της αρχικής περιόδου λειτουργίας της επιφάνειας.
- R_{vk} : Παριστά τις κοιλάδες οι οποίες περιγράφουν τα κατώτερα μέρη της επιφάνειας και δείχνουν τη δυνατότητα του περιγράμματος να διατηρεί λιπαντικό κατά την περίοδο της λειτουργίας.
- $MR1$: Είναι το ανώτατο όριο της βασικής τραχύτητας.
- $MR2$: Είναι το κατώτατο όριο της βασικής τραχύτητας.

με την πραγματική επιφάνεια επαφής, τη μηχανική αντοχή των κορυφών και τη φθορά



Σχήμα 2.21: Ορισμός της ομάδας παραμέτρων R_k .

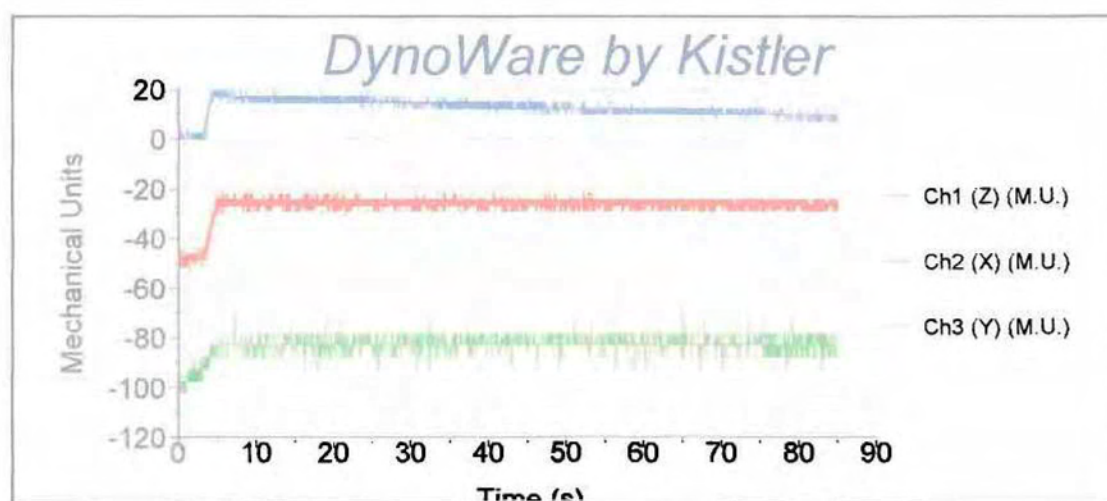
2.5 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

2.5.1 ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΚΟΠΗΣ

Όπως έχει προαποφασισθεί εκτελούμε το πείραμα σύμφωνα με τις συνθήκες του πίνακα 2.1:

	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ V (m/min)	ΠΡΟΩΣΗ
1	200	0,05
2	300	0,10
3	500	0,20
4		0,32

Επομένως κατεργαζόμαστε το υλικό (κοπή) με 12 διαφορετικές περιπτώσεις με σταθερό το βάθος κοπής ($a=1$ mm). Ενδεικτικά παρουσιάζουμε τις δυνάμεις κοπής στη περίπτωση όπου $v=200$ m/min και $f=0.05$



Στη συγκεκριμένη περίπτωση η μέση τιμή των 3 δυνάμεων είναι εξής:
 $F_z = 18.54$, $F_x = 23.99$ και $F_y = 14.08$

Με τη βοήθεια του δυναμόμετρου βρίσκουμε τις μεσαίες τιμές των 3 δυνάμεων και για τις 12 περιπτώσεις που παρουσιάζονται στον πίνακα 2.5. Όσον αφορά τις γραφικές παραστάσεις των δυνάμεων παρουσιάζονται στο παράρτημα Π.1

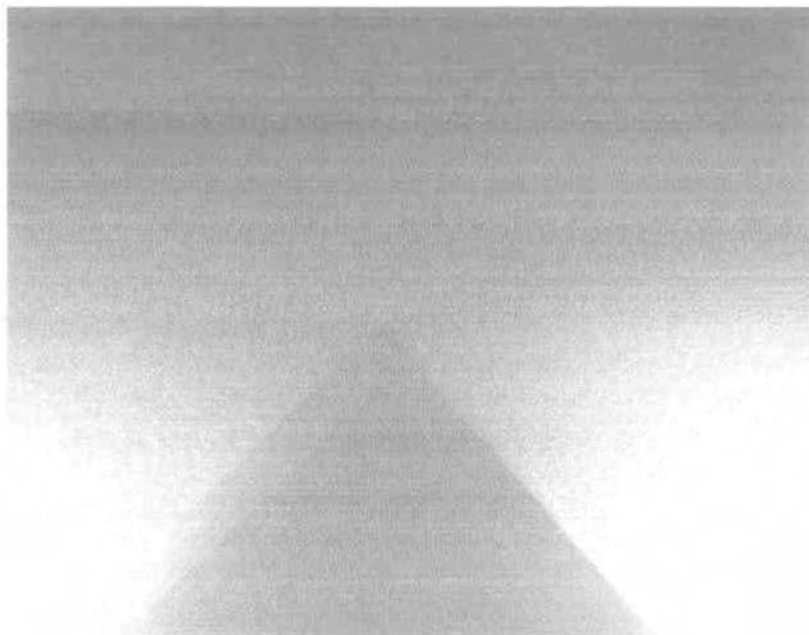
V	f	Fz	Fx	Fy
		Ch1 (Z)	Ch2 (X)	Ch3 (Y)
200	5	18,54	23,99333	14,80105
200	10	19,1133	24,15885	16,05264
200	20	20,74	26,23	24,4
200	32	21,96	27,25633	31,72
300	5	16,61834	22,1767	9,0441
300	10	18,14633	23,98172	14,96462
300	20	18,92943	25,864	22,82376
300	32	20,22135	26,69977	30,2084
500	5	15,08364	20,98399	7,683521
500	10	17,08	21,36285	11,56867
500	20	18,03	22,232	22,112
500	32	19,82222	26,6	29,85332

Πίνακας 2.5 Μεσαίες τιμές δυνάμεων κοπής ανάλογα με την ταχύτητα κοπής και τη δύναμη προώσεως

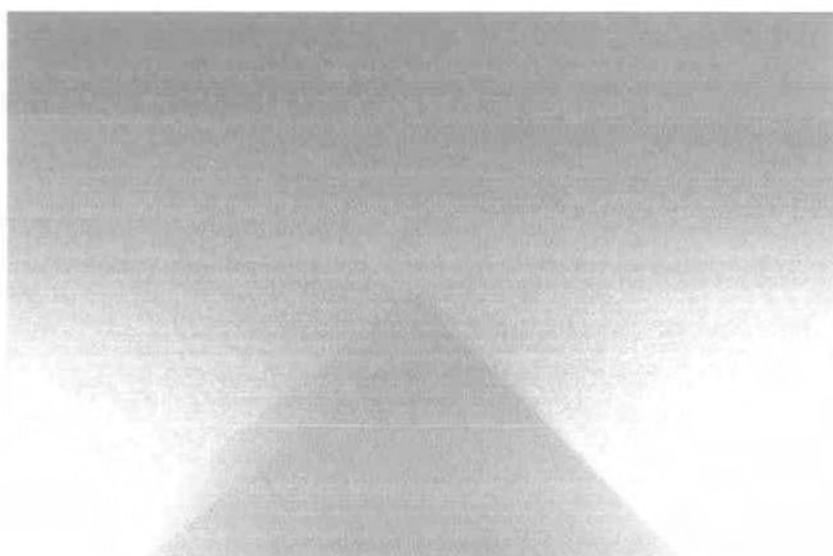
2.5.2 ΦΘΟΡΑ ΚΟΠΤΙΚΟΥ

Κατά την κατεργασία της κοπής με τη βοήθεια του μικροσκοπίου γίνονται μετρήσεις της φθοράς του κοπτικού. Η φθορά του κοπτικού εργαλείου είναι μηδαμινή. Με σκοπό να εμβαθύνουμε στο φαινόμενο της φθοράς πέρα από το πείραμα μας συνεχίζουμε την κατεργασία κοπής για τα επόμενα 40 mm. Το αποτέλεσμα όπως φαίνεται και στα σχήματα 2.21 και 2.22 είναι το ίδιο.

Επομένως φθάνουμε στο συμπέρασμα ότι με το συγκεκριμένο σκληρό κοπτικό υλικό (SPUN120308) και το συγκεκριμένο μαλακό υλικό προς κατεργασία (Ertacetal) δεν είναι δυνατό να βρεθεί φθορά.



Σχ. 2.22 Κοπτικό πριν την κοπή



Σχ.2.23 Κοπτικό ύστερα από κοπή 52 mm

2.5.3 Απόβλητο κοπής

Κατά την κοπή επικεντρώνουμε την προσοχή μας και στην συμπεριφορά του απόβλητου κοπής ανάλογα με την ταχύτητα κοπής και την πρόωση. Στην πρώτη περίπτωση (σχήμα 2.23) παρουσιάζεται το απόβλητο ύστερα από κοπή με ταχύτητα 200 m/min και πρόωση 0.05. Στην δεύτερη (σχήμα 2.24) κατεργασία με ταχύτητα 300 m/min και πρόωση 0.20 και στην Τρίτη (σχήμα 2.25) ύστερα από κοπή με ταχύτητα 500 m/min και 0.32



Σχήμα 2.24 Απόβλητο ύστερα από κοπή με ταχύτητα 200 m/min και πρόωση 0.05 με πραγματικό πάχος 0,75 mm



Σχήμα 2.25 Απόβλητο ύστερα από κοπή με ταχύτητα 300 m/min και πρόωση 0.20 με πραγματικό πάχος 0.4 mm

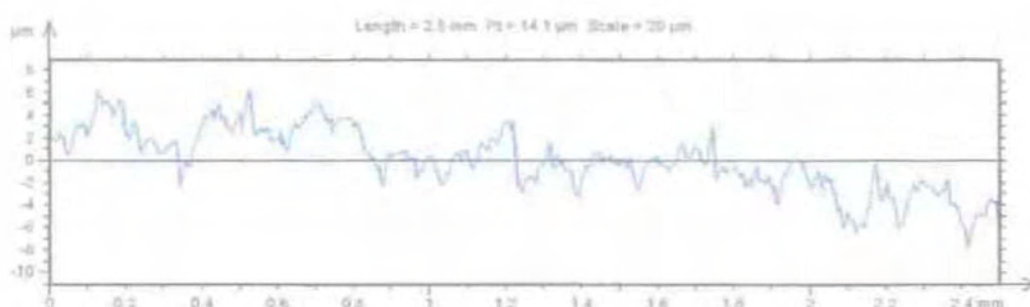


Σχήμα 2.26 Απόβλητο ύστερα από κοπή με ταχύτητα 500 m/min και πρόωση 0.32 mm με πραγματικό πάχος 0.32mm

Καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι μικρές τιμές ταχύτητας κοπής και πρόωσης δίνουν συνεχές απόβλητο ενώ μεσαίες και υψηλές τιμές ταχύτητας κοπής και πρόωσης δίνουν ασυνεχές απόβλητο .

2.5.4 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ

Με τη βοήθεια του τραχύμετρου Surtronic 25 και του Talysrprofile πραγματοποιείται η μελέτη της τραχύτητας και των παραμέτρων της. Σε κάθε περίπτωση τραχύτητας κοπής και πρόωσης πραγματοποιούμε 3 μορφές μέτρησης ώστε να αποφευχθεί οποιοδήποτε σφάλμα. Ενδεικτικά παρουσιάζουμε τη συμπεριφορά της τραχύτητας στη περίπτωση όπου $v = 200 \text{ m/min}$ και $f = 0.05$



Στο παράρτημα Π2 παρουσιάζονται όλες οι μετρήσεις τραχύτητας

Στους παρακάτω πίνακες (2.6 και 2.7) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης των παραμέτρων της τραχύτητας

Feed rate	V	Ra	Rt	Rp	Rsm	Rsk	Rku	FRACTAL	Rpk
0,05	200,000	1,019	7,15	2,987	0,115	0,038	2,983	1,153	1,025
0,10	200,000	0,994	7,14	2,397	0,091	-0,54	3,297	1,153	0,62
0,20	200,000	3,450	17,167	9,64	0,185	0,55	2,243	1,107	4,797
0,32	200,000	7,203	34,667	19,7	0,29	0,593	2,347	1,07	9,757
0,05	300,000	1,009	7,457	2,697	0,122	-0,266	3,13	1,207	0,766
0,10	300,000	1,08	7,957	2,93	0,096	-0,437	3,407	1,207	0,976
0,20	300,000	5,283	27,433	15,5	0,194	0,534	2,477	1,08	9,563
0,32	300,000	11,7	60,833	37,567	0,29	1,022	3,167	1,067	24,3
0,05	500,000	0,742	4,813	2,27	0,1	-0,247	2,963	1,153	0,611
0,10	500,000	0,958	7,9	2,68	0,107	-0,743	4,083	1,203	0,875
0,20	500,000	5,71	33,7	19,733	0,201	0,717	2,803	1,077	9,077
0,32	500,000	13,1	70,133	41,333	0,278	0,957	2,993	1,063	25,4

Πίνακας 2.6 Παράμετροι τραχύτητας (α)

Feed rate	V	Rk	Mr1	Mr2	Rtp	Rlo	Wa	Ra/Wa	Rvk
0,05	200,000	3,013	0,095	0,881	0,022	0,007	0,864	1,543	1,643
0,10	200,000	2,787	0,068	0,863	0,073	0,008	0,479	2,123	1,667
0,20	200,000	7,547	0,239	0,951	0,021	0,027	0,582	6,13	1,501
0,32	200,000	12,733	0,212	0,949	0,019	0,039	1,05	12,25	1,123
0,05	300,000	2,82	0,084	0,867	0,056	0,006	0,464	3,183	1,397
0,10	300,000	2,783	0,097	0,865	0,018	0,007	0,388	2,167	1,63
0,20	300,000	9,817	0,297	0,965	0,005	0,04	0,832	5,417	1,91
0,32	300,000	17,857	0,256	0,932	0,006	0,093	2,347	5,363	4,523
0,05	500,000	2,083	0,096	0,88	0,082	0,003	1,296	0,741	1,09
0,10	500,000	2,420	0,085	0,821	0,041	0,007	0,665	1,822	1,937
0,20	500,000	12,300	0,242	0,937	0,003	0,049	4,1	1,716	3,013
0,32	500,000	23,467	0,234	0,921	0,002	0,1	2,59	5,428	4,313

Πίνακας 2.7 Παράμετροι τραχύτητας (β)

2.6 ΕΙΔΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΟΠΗΣ

Η κύρια συνιστώσα της δύναμης κοπής κατά τη διαμήκη τórνευση δίδεται από τον τύπο

$$F_1 = b k_s h^{(1-z)}$$

Η καταναλισκόμενη κατά την κοπή ισχύς δίδεται από τη σχέση $P_k = F_1 \cdot u$ όπου F_1 είναι η κύρια συνιστώσα της δύναμης και u η ταχύτητα κοπής. **Η συνολική ενέργεια κοπής** ανά μονάδα όγκου αφαιρούμενου υλικού προκύπτει αν διαιρεθεί η ισχύς με τη θεωρητική διατομή του αποβλίττου.

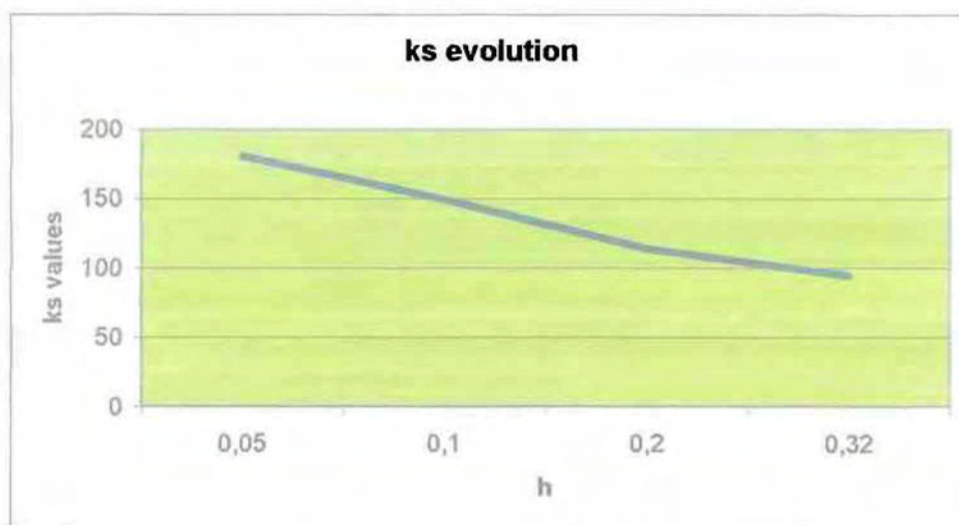
$$W = F_1 / A$$

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονίσουμε ιδιαίτερα, ότι η συνολική ενέργεια κοπής μπορεί να εκφραστεί σε daN/mm^2 και συνεπώς αυτή ταυτίζεται αριθμητικά με τη λεγόμενη **ειδική αντίσταση κοπής** :

$$k_s = F/A = F/(a \cdot s)$$

Το επόμενο βήμα είναι να μελετήσουμε την εξάρτηση της ειδικής αντίστασης κοπής από το θεωρητικό πλάτος αποβλήττου μέσω γραφικής παραστάσεως. Ενδεικτικά η μελέτη θα γίνει για ταχύτητα κοπής 300m/min

F_1	k_s	h
9,0441	180,8	0,05
14,96462	149,6	0,1
22,82376	114,1	0,2
30,2084	94,37	0,32



Σχήμα 2.27 Γραφική παράσταση k_s - h

3.ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ (ΑΝΟΝΑ)

Η Στατιστική είναι επιστήμη που επιχειρεί να εξαγάγει γνώση χρησιμοποιώντας εμπειρικά δεδομένα. Βασίζεται στη χρήση της στατιστικής θεωρίας, ενός κλάδου των εφαρμοσμένων μαθηματικών. Στη στατιστική, η τυχαιότητα και η απροσδιοριστία ορίζονται στα πλαίσια της θεωρίας πιθανοτήτων. Η πρακτική της στατιστικής περιλαμβάνει την σχεδίαση, συλλογή και ερμηνεία δεδομένων που προκύπτουν από αβέβαιες παρατηρήσεις. Επειδή η στατιστική αποσκοπεί στην εξαγωγή των «καλύτερων» πληροφοριών από τα διαθέσιμα δεδομένα, κατατάσσεται από μερικούς σαν κλάδος της θεωρίας των αποφάσεων.

Περιγράφουμε τη γνώση μας (και την άγνοιά μας) μαθηματικά και επιχειρούμε να μάθουμε περισσότερα από οτιδήποτε μπορούμε να παρατηρήσουμε. Αυτό προϋποθέτει:

1. Να σχεδιάσουμε τις παρατηρήσεις μας ώστε να ελέγχουμε τη μεταβλητότητά τους (σχεδιασμός πειράματος),
2. Να συνοψίσουμε μια συλλογή παρατηρήσεων για να βρούμε τα κοινά τους σημεία καταγράφοντας λεπτομέρειες (περιγραφική στατιστική), και
3. Να συμφωνήσουμε σχετικά με το τι μας λένε οι παρατηρήσεις για τον κόσμο που παρατηρούμε (στατιστικός συμπερασμός)

Μερικές επιστήμες χρησιμοποιούν την εφαρμοσμένη στατιστική τόσο εκτεταμένα ώστε έχουν ειδική ορολογία. Τέτοιοι επιστημονικοί τομείς είναι οι εξής:

- Βιοστατιστική
- Επιχειρηματική Στατιστική
- Οικονομική Στατιστική
- Μηχανική Στατιστική
- Στατιστική Φυσική
- Δημογραφία
- Ψυχολογική Στατιστική
- Κοινωνική Στατιστική (για όλες τις Κοινωνικές Επιστήμες)
- Ανάλυση Διαδικασιών και Χημειομετρία (για την ανάλυση δεδομένων από την αναλυτική χημεία και τη χημική μηχανική)
- Οικονομετρία
- Τεχνομετρία

3.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ (ANOVA)

Η ανάλυση της διακύμανσης (ANalysis Of VAriance – ANOVA) είναι μία στατιστική μέθοδος με την οποία η μεταβλητότητα που υπάρχει σ' ένα σύνολο δεδομένων διασπάται στις επιμέρους συνιστώσες της με στόχο την κατανόηση της σημαντικότητας των διαφορετικών πηγών προέλευσής της. Η ανάπτυξη της μεθοδολογίας οφείλεται στον θεμελιωτή της σύγχρονης στατιστικής επιστήμης, άγγλο στατιστικό Sir Ronald Aylmer Fisher (1890-1962). Στην πραγματικότητα η ANOVA περιλαμβάνει μία ομάδα στατιστικών μεθόδων καταλλήλων για την ανάλυση δεδομένων που προκύπτουν από πειραματικούς σχεδιασμούς.

Τα δεδομένα ενός δείγματος ανάλογα με την προέλευσή τους διακρίνονται σε παρατηρήσεις (observational sampling) ή σε πειραματικά (designed sampling). Στην πρώτη κατηγορία ο στατιστικός ερευνητής απλά παρατηρεί τις τιμές που εμφανίζονται χωρίς να έχει δυνατότητα επέμβασης στις αντίστοιχες μεταβλητές. Αντίθετα στη δεύτερη κατηγορία ο στατιστικός ερευνητής προσπαθεί να ελέγξει τα επίπεδα μίας ή περισσότερων ανεξάρτητων (independent) μεταβλητών προκειμένου να προσδιορίσει την επίδραση που έχουν πάνω στην υπό μελέτη μεταβλητή που καλείται εξαρτημένη (dependent) ή απόκριση (response). Για παράδειγμα, απόκριση μπορεί να είναι η βαθμολογία στην εξέταση του μαθήματος της στατιστικής, ο όγκος των πωλήσεων μίας επιχείρησης ή το συνολικό εισόδημα μίας οικογένειας κατά τη διάρκεια του έτους.

Στόχος κάθε στατιστικού πειράματος είναι ο προσδιορισμός της επίδρασης μίας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών πάνω στην απόκριση. Οι μεταβλητές αυτές αναφέρονται συνήθως σαν παράγοντες (factors) και μπορεί να είναι είτε ποσοτικές είτε ποιοτικές. Για παράδειγμα θα ήταν ενδιαφέρον να διερευνήσουμε την επίδραση που έχει ο ποιοτικός παράγων "φύλο" στη βαθμολογία της στατιστικής ή ο ποσοτικός παράγων "πλήθος καταστημάτων πώλησης" στον όγκο των πωλήσεων. Σε άλλες πάλι περιπτώσεις ενδεχομένως να ενδιαφερόμαστε για την επίδραση που έχουν πάνω στην απόκριση περισσότερες της μίας ανεξάρτητες μεταβλητές όπως ο ποσοτικός παράγων "πλήθος εργαζομένων" και ο ποιοτικός παράγων "πόλη διαμονής" πάνω στο οικογενειακό εισόδημα.

Οι τιμές του παράγοντα που προσδιορίζονται στο πείραμα λέγονται επίπεδα (levels). Για παράδειγμα τα επίπεδα για τον ποιοτικό παράγοντα φύλο είναι "αρσενικό" - "θηλυκό", ενώ για τον ποσοτικό παράγοντα πλήθος καταστημάτων πώλησης είναι "θετικός ακέραιος". Σε ένα πείραμα με ένα παράγοντα οι μεταχειρίσεις (treatments) του πειράματος είναι τα επίπεδα του παράγοντα. Για παράδειγμα αν στο πείραμα βαθμολογία της στατιστικής μας ενδιαφέρει η επίδραση του παράγοντα "φύλο" τότε οι μεταχειρίσεις του πειράματος είναι αρσενικό – θηλυκό. Σε ένα πείραμα με δύο ή περισσότερους παράγοντες οι μεταχειρίσεις είναι οι συνδυασμοί παραγόντων-επιπέδων. Για παράδειγμα αν μας ενδιαφέρει η επίδραση των παραγόντων "φύλο", "ηλικία" στη βαθμολογία της

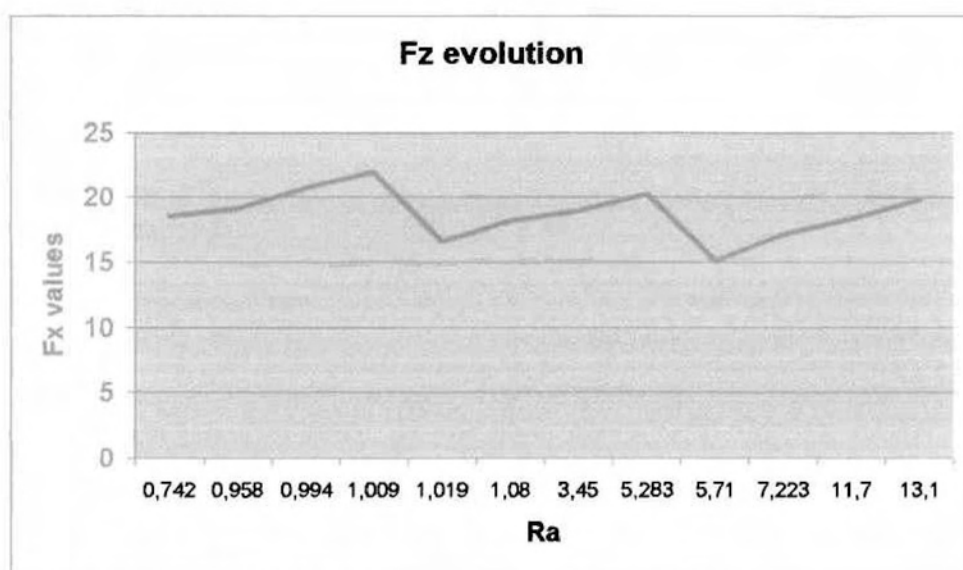
4.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

4.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΟΠΗΣ

- Η συσχέτιση των δυνάμεων κοπής και της μέσης αριθμητικής τραχύτητας Ra παρουσιάζονται στους επόμενους πίνακες και διαγράμματα

Ra	Fz
0,742	14,80105
0,958	16,05264
0,994	24,4
1,009	31,72
1,019	9,0441
1,08	14,96462
3,45	22,82376
5,283	30,2084
5,71	7,683521
7,223	11,56867
11,7	22,112
13,1	29,85333

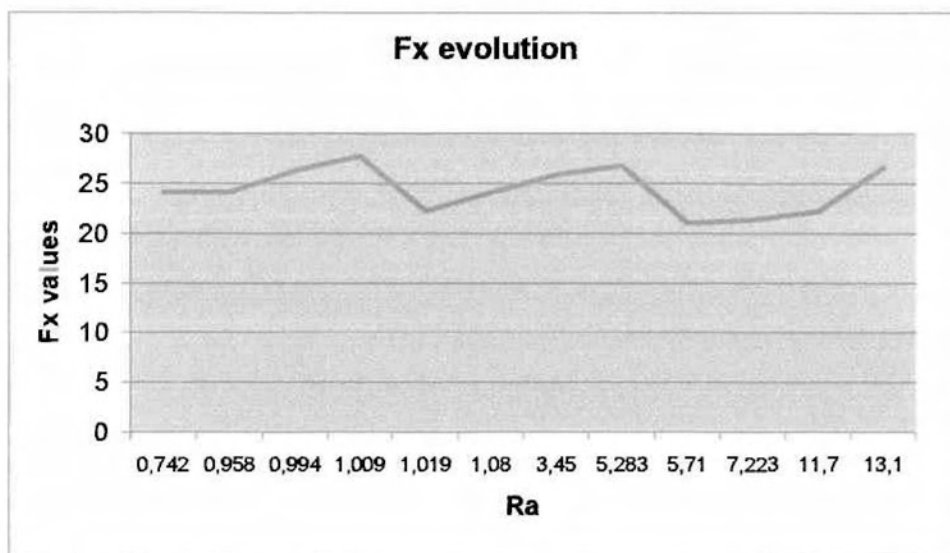
Πίνακας 4.1 Σχέση μεταξύ Ra και Fz



Σχήμα 4.1 Διάγραμμα Ra- Fz

Ra	Fx
0,742	23.99
0,958	24.16
0,994	26.23
1,009	27.65
1,019	22.18
1,08	23.98
3,45	25.86
5,283	26.7
5,71	20.98
7,223	21.36
11,7	22.23
13,1	26.6

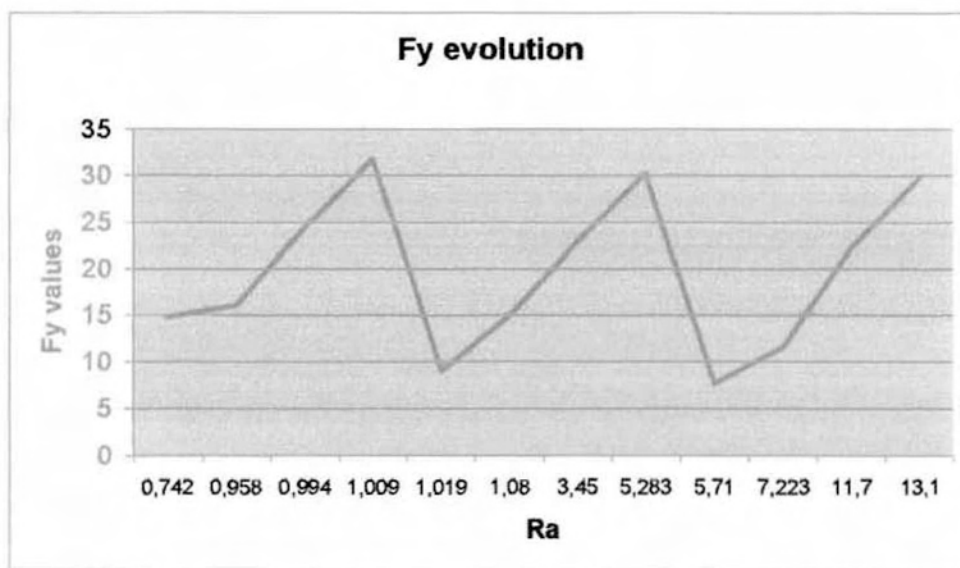
Πίνακας 4.2 Σχέση μεταξύ Ra και Fx



Σχήμα 4.2 Διάγραμμα Ra- Fx

Ra	Fy
0,742	7,68
0,958	11,56
0,994	13,72
1,009	9,04
1,019	14,8
1,08	14,97
3,45	14,64
5,283	22,8
5,71	25,41
7,223	27,42
11,7	30,2
13,1	46,18

Πίνακας 4.3 Σχέση μεταξύ Ra και Fy



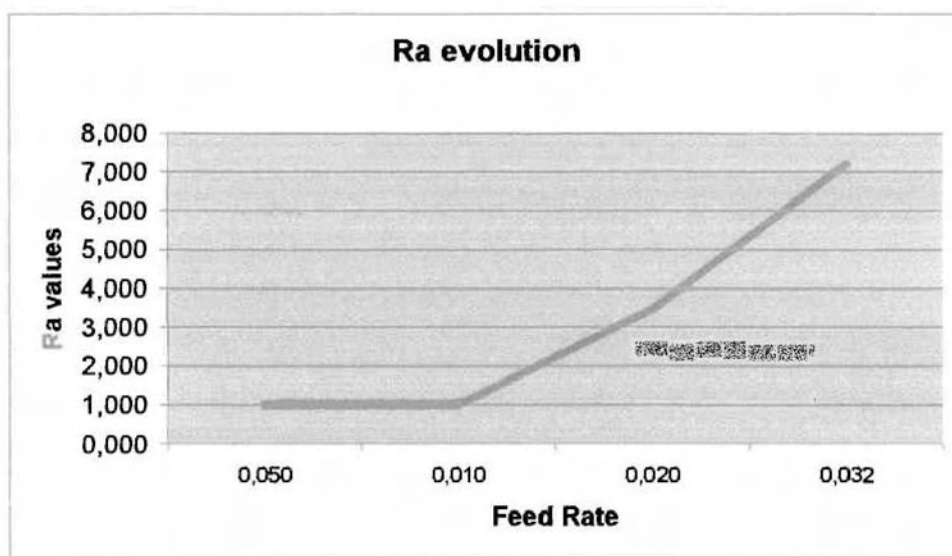
Σχήμα 4.3 Διάγραμμα Ra- Fy

4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Τα διαγράμματα των παραμέτρων της τραχύτητας αφορούν τη κοπή με $v=200\text{m/min}$

Ra - Feed rate

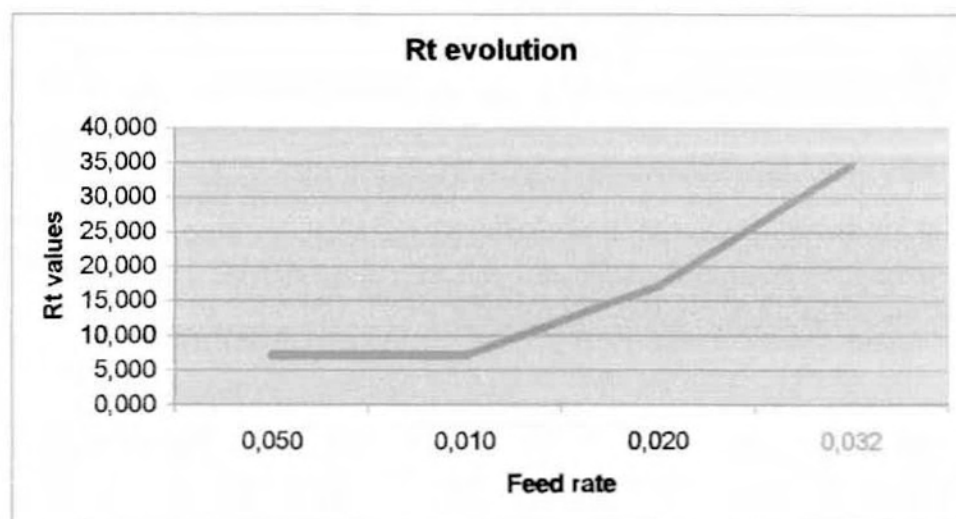
Feed rate	Average	Ra		
0,050	1,019	1,010	1,080	0,968
0,010	0,994	1,160	0,884	0,939
0,020	3,450	6,080	2,160	2,110
0,032	7,203	11,600	5,070	4,940



Στις μικρές προώσεις η Ra παραμένει σταθερή ενώ όσο αυξάνεται η πρόωση αυξάνεται και Ra.

Rt - Feed rate

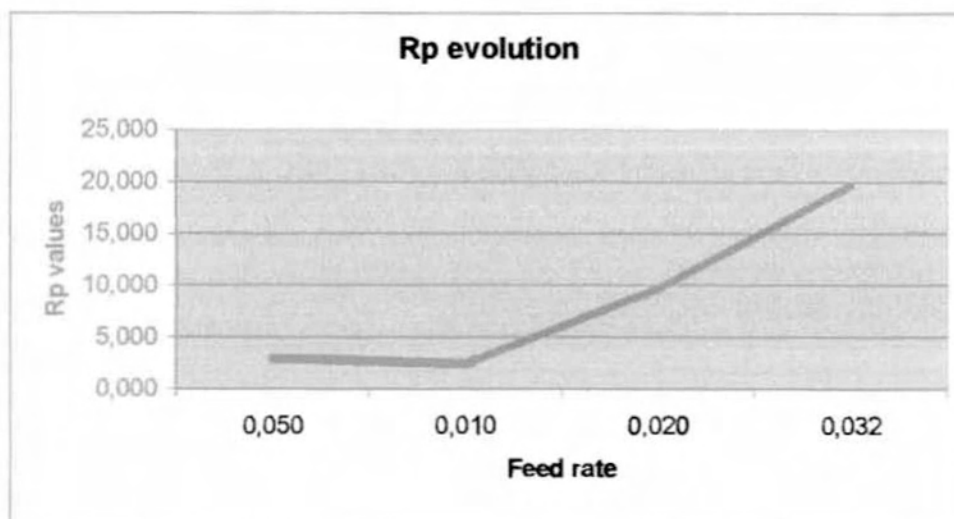
Feed rate	Average	Rt		
0,050	7,150	6,990	7,240	7,220
0,010	7,140	6,940	7,150	7,330
0,020	17,167	30,800	11,600	10,900
0,032	34,667	60,000	23,500	20,500



Στις μικρές προώσεις η Rt παραμένει σταθερή ενώ όσο αυξάνεται η πρόωση αυξάνεται και Rt

Rp - Feed rate

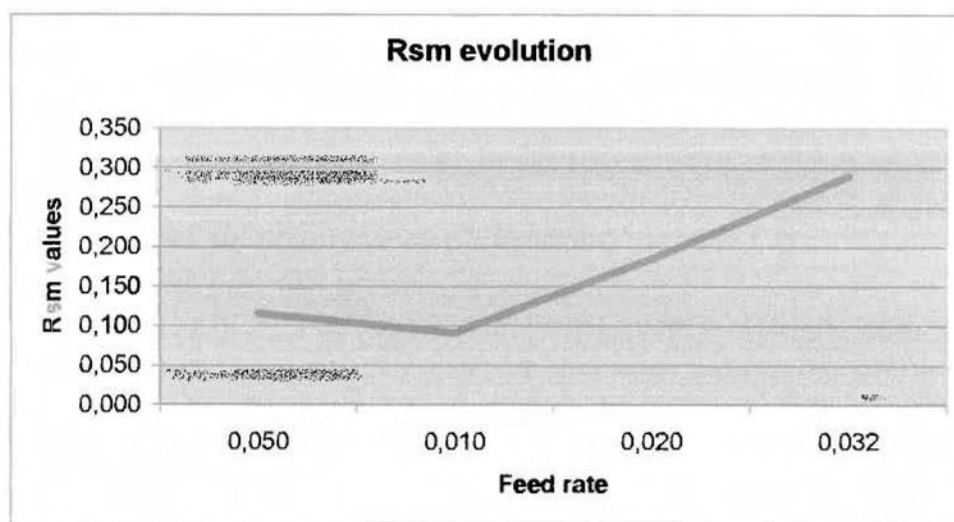
Feed rate	Average	Rp		
0,050	2,987	3,520	2,880	2,560
0,010	2,397	2,560	2,330	2,300
0,020	9,640	18,000	5,960	4,960
0,032	19,700	36,400	11,700	11,000



Στις μικρές προώσεις η Rp ελαφρώς μειώνεται ενώ όσο αυξάνεται η πρόωση αυξάνεται και η Rp

Rsm - Feed rate

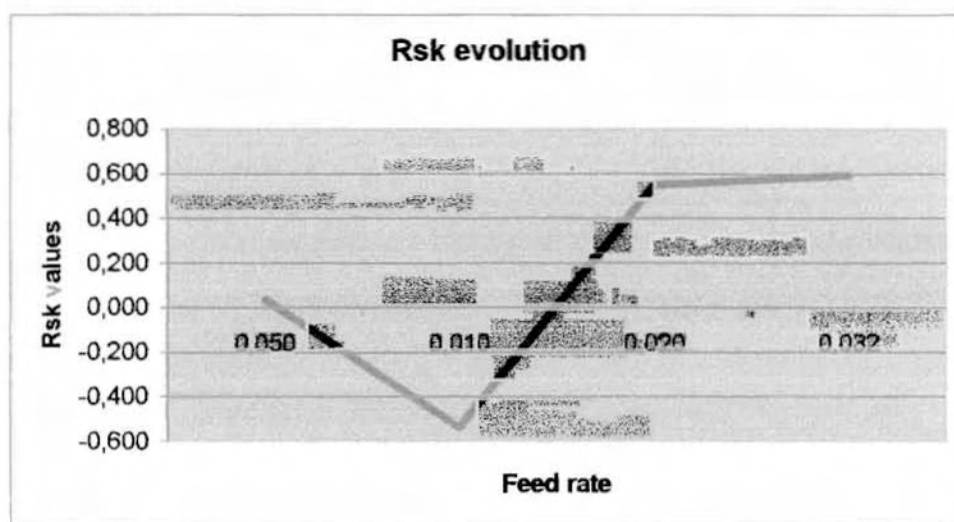
Feed rate	Average	Rsm		
0,050	0,115	0,122	0,111	0,112
0,010	0,091	0,101	0,080	0,091
0,020	0,185	0,200	0,165	0,191
0,032	0,290	0,295	0,298	0,277



Στις μικρές προώσεις η Rsm ελαφρώς μειώνεται ενώ όσο αυξάνεται η πρόωση αυξάνεται και η Rsm

Rsk - Feed rate

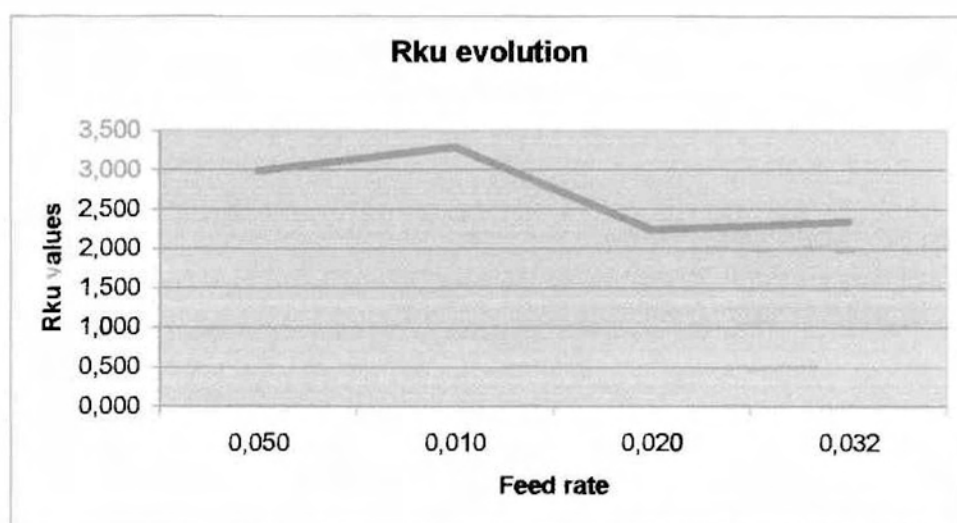
Feed rate	Average	Rsk		
0,050	0,038	0,398	-0,284	0,000
0,010	-0,540	-0,388	-0,645	-0,586
0,020	0,550	0,669	0,525	0,455
0,032	0,593	1,070	0,210	0,498



Στις μικρές προώσεις η Rsk μειώνεται, στις μεσαίες η Rsk αυξάνεται ενώ στις μεγάλες παραμένει σταθερή

Rku - Feed rate

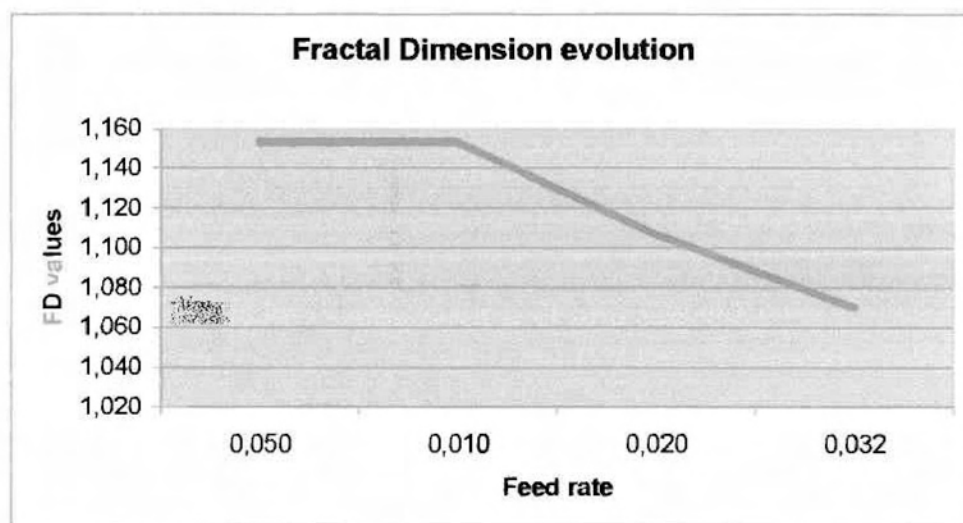
Feed rate	Average	Rku		
0,050	2,983	3,010	2,780	3,160
0,010	3,297	2,660	3,840	3,390
0,020	2,243	2,520	2,310	1,900
0,032	2,347	3,140	1,900	2,000



Στις μικρές προώσεις η Rku αυξάνεται, στις μεσαίες μειώνεται ενώ στις μεγάλες ελαφρώς αυξάνεται

Fractal Dimension - Feed rate

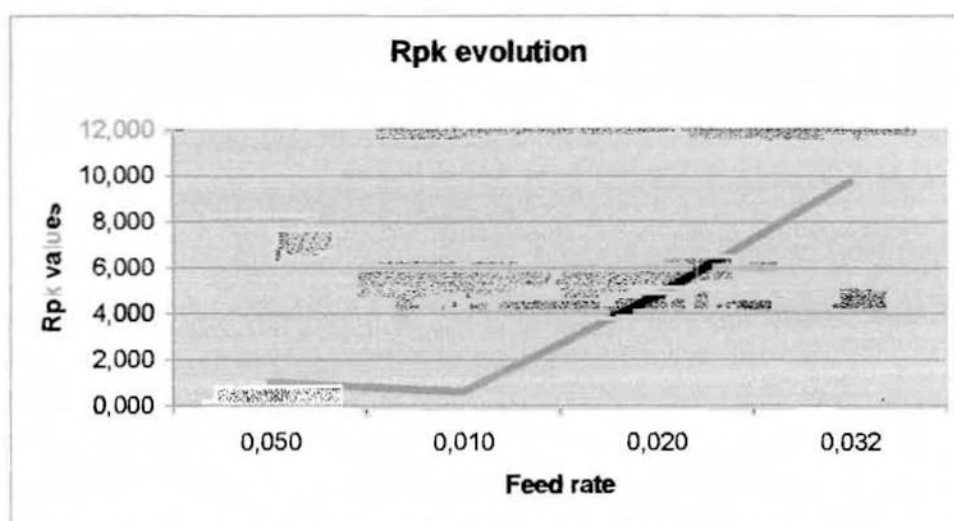
Feed rate	Average	fractal dimension		
0,050	1,153	1,070	1,230	1,160
0,010	1,153	1,070	1,200	1,190
0,020	1,107	1,050	1,130	1,140
0,032	1,070	1,110	1,040	1,060



Στις μικρές προώσεις η Fractal Dimension παραμένει σταθερή ενώ στις μεσαίες και μεγάλες μειώνεται

Rpk - Feed rate

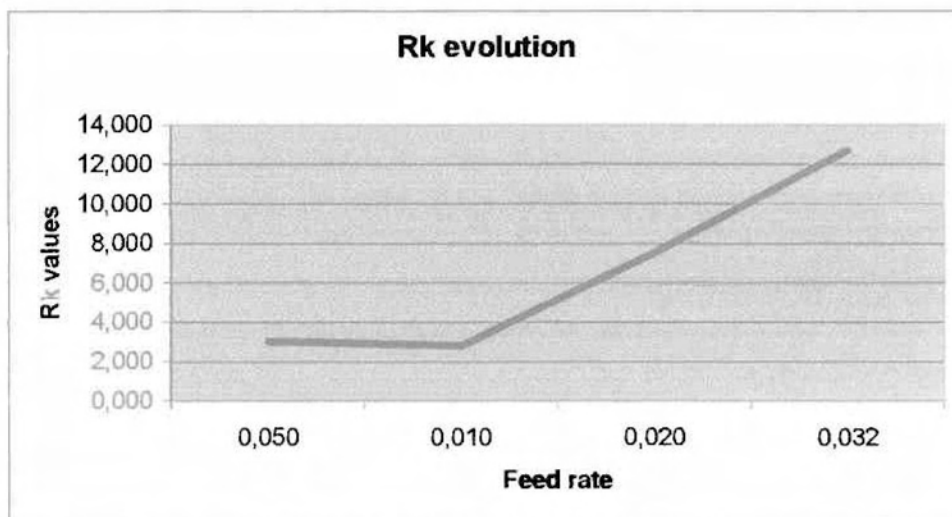
Feed rate	Average	Rpk		
0,050	1,025	1,200	0,956	0,920
0,010	0,620	0,532	0,832	0,495
0,020	4,797	9,110	3,050	2,230
0,032	9,757	18,800	4,540	5,930



Στις μικρές προώσεις η Rpk ελαφρώς μειώνεται ενώ στις μεσαίες και μεγάλες αυξάνεται κατακόρυφα

Rk - Feed rate

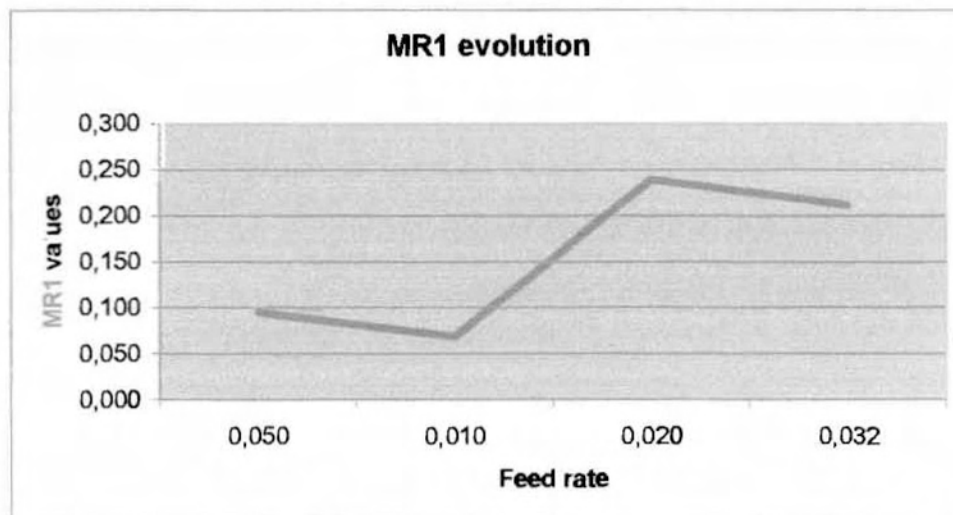
Feed rate	Average	Rk		
0,050	3,013	2,320	3,410	3,310
0,010	2,787	2,800	2,210	3,350
0,020	7,547	10,600	5,830	6,210
0,032	12,733	8,700	15,900	13,600



Στις μικρές προώσεις η Rk ελαφρώς μειώνεται ενώ στις μεσαίες και μεγάλες αυξάνεται κατακόρυφα

MR1 - Feed rate

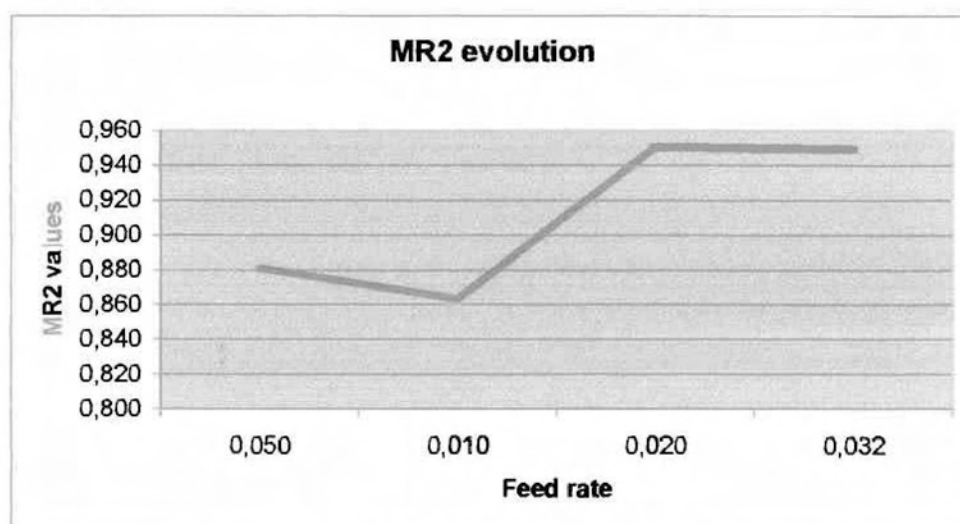
Feed rate	Average	MR1		
0,050	0,095	0,093	0,094	0,097
0,010	0,068	0,059	0,090	0,054
0,020	0,239	0,232	0,254	0,232
0,032	0,212	0,259	0,161	0,215



Στις μικρές προώσεις η MR1 ελαφρώς μειώνεται , στις μεσαίες αυξάνεται ενώ στις μεγάλες προώσεις ελαφρώς μειώνεται

MR2 - Feed rate

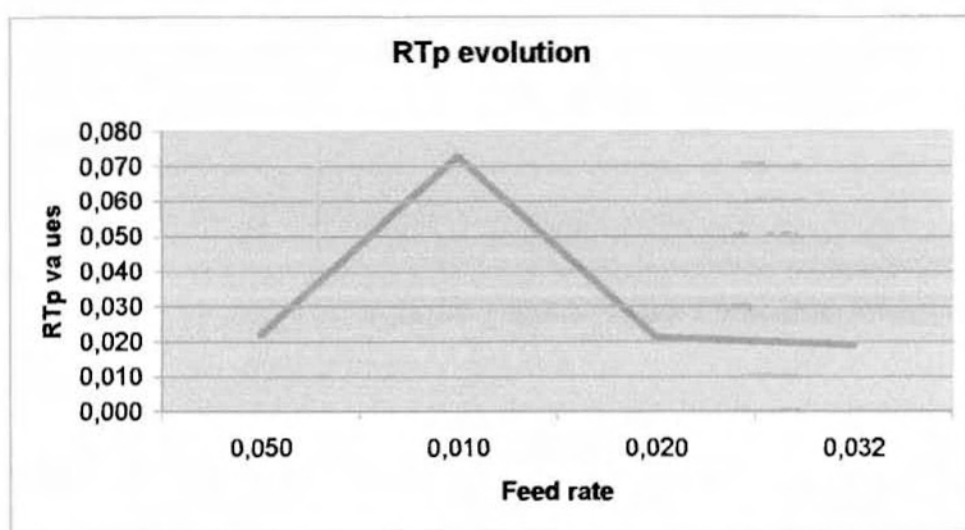
Feed rate	Average	MR2		
0,050	0,881	0,833	0,869	0,941
0,010	0,863	0,869	0,840	0,879
0,020	0,951	0,935	0,938	0,979
0,032	0,949	0,906	0,979	0,962



Στις μικρές προώσεις η MR2 μειώνεται στις μεσαίες αυξάνεται ενώ στις μεγάλες παραμένει σταθερή

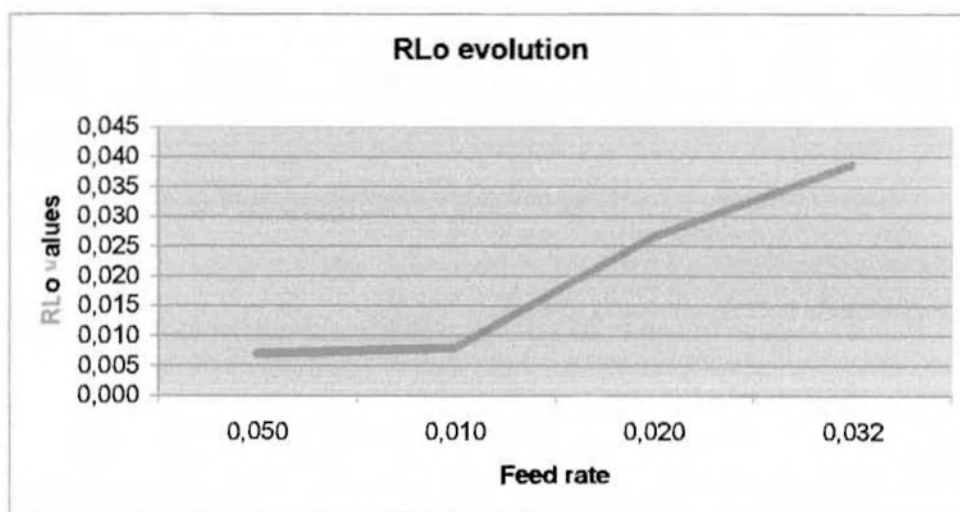
RTp - Feed rate

Feed rate	Average	RTp		
0,050	0,022	0,032	0,013	0,020
0,010	0,073	0,081	0,025	0,112
0,020	0,021	0,008	0,009	0,047
0,032	0,019	0,005	0,004	0,048



Rlo - Feed rate

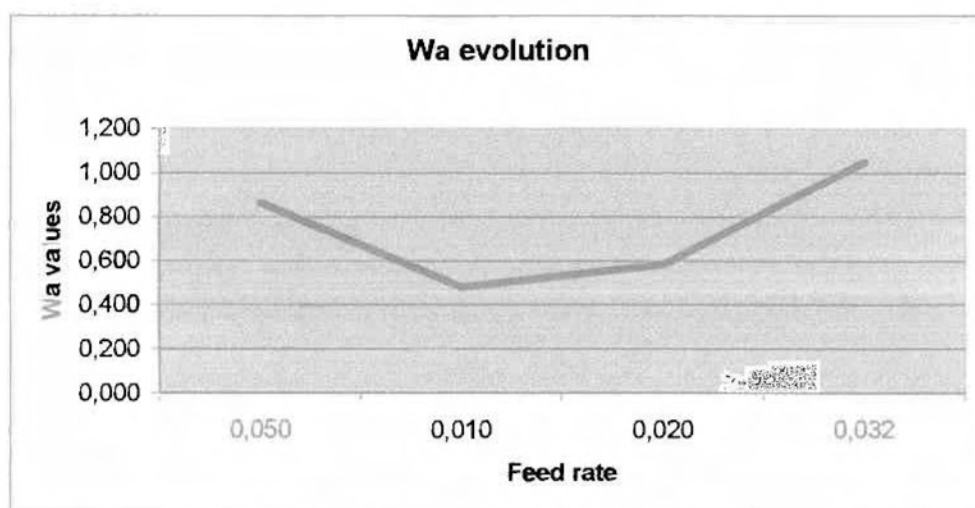
Feed rate	Average	Rlo		
0,050	0,007	0,010	0,005	0,006
0,010	0,008	0,010	0,007	0,008
0,020	0,027	0,059	0,011	0,010
0,032	0,039	0,085	0,014	0,017



Στις μικρές προώσεις η Rlo παραμένει σταθερή ενώ στη συνέχεια αυξάνεται

Wa - Feed rate

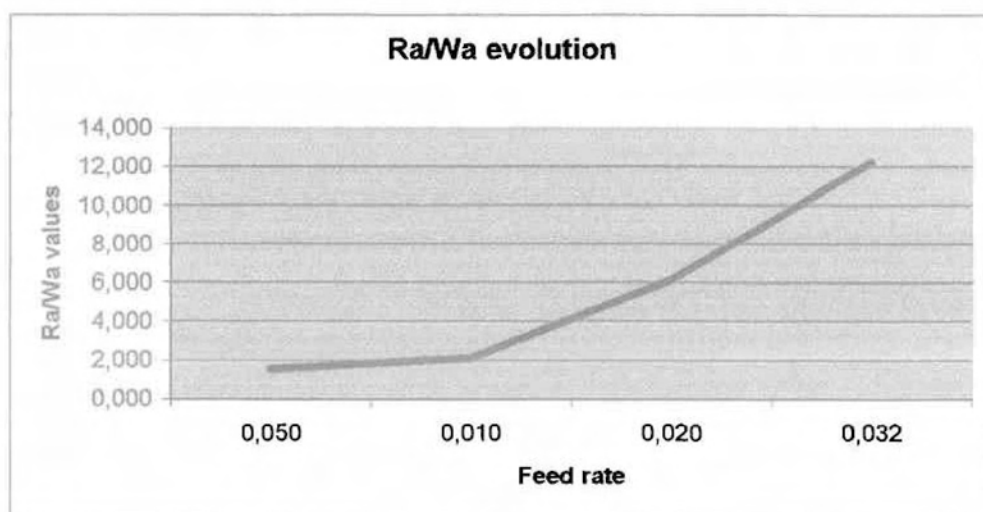
Feed rate	Average	Wa		
0,050	0,864	1,500	0,590	0,501
0,010	0,479	0,612	0,356	0,468
0,020	0,582	0,547	0,504	0,696
0,032	1,050	2,020	0,629	0,501



Στις μικρές προώσεις η Wa μειώνεται , στις μεσαίες ελαφρώς αυξάνεται και στις υψηλές αυξάνεται κατακόρυφα

Ra / Wa - Feed rate

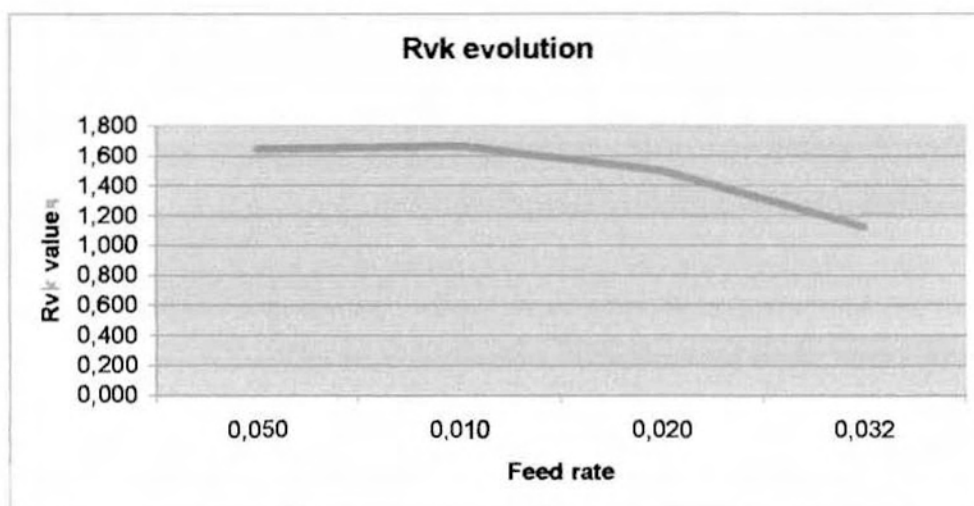
Feed rate	Average	Ra/Wa		
0,050	1,543	0,870	1,830	1,930
0,010	2,123	1,890	2,480	2,000
0,020	6,130	11,110	4,250	3,030
0,032	12,250	5,740	8,060	22,950



Στις χαμηλές προώσεις η Ra/Wa ελαφρώς αυξάνεται και στη συνέχεια αυξάνεται κατακόρυφα

Rvk - Evolution

Feed rate	Average	Rvk		
0,050	1,643	1,600	1,550	1,780
0,010	1,667	1,460	1,740	1,800
0,020	1,501	2,460	1,270	0,773
0,032	1,123	1,180	1,050	1,140

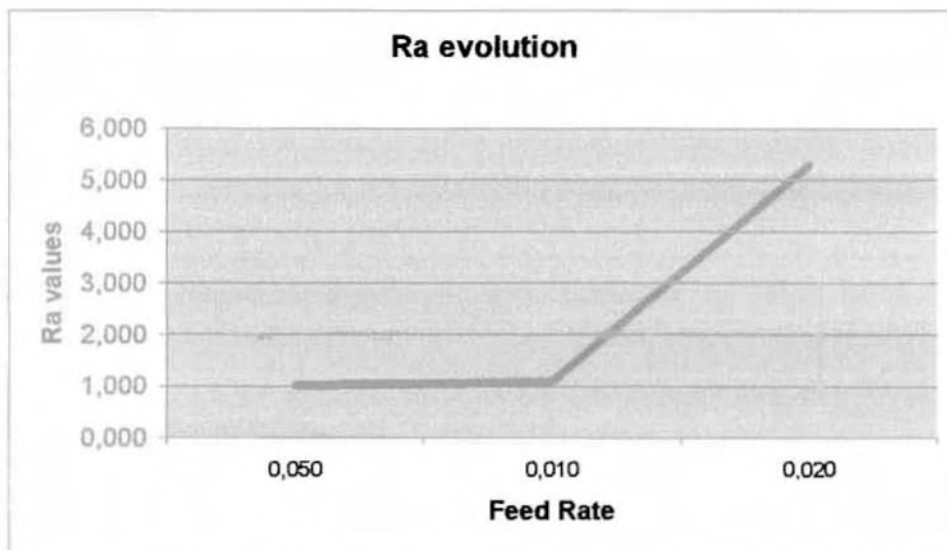


Όσο αυξάνεται η πρόωση η Rvk ελαφρώς μειώνεται

Τα επόμενα διαγράμματα αφορούν την κατεργασία κοπής με ταχύτητα **300m/min**

Ra - Feed rate

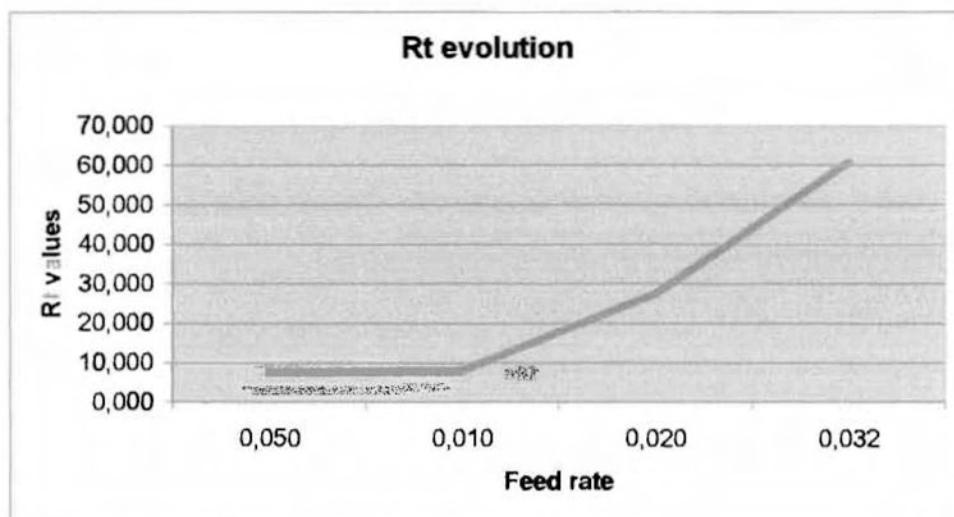
Feed rate	Average	Ra		
0,050	1,009	1,110	1,010	0,906
0,010	1,080	1,090	1,070	0,0,909
0,020	5,283	5,390	5,340	5,120
0,032	11,700	11,600	12,000	11,500



Στις μικρές προώσεις η Ra παραμένει σταθερή ενώ όσο αυξάνεται η πρόωση αυξάνεται και Ra.

Rt - Feed rate

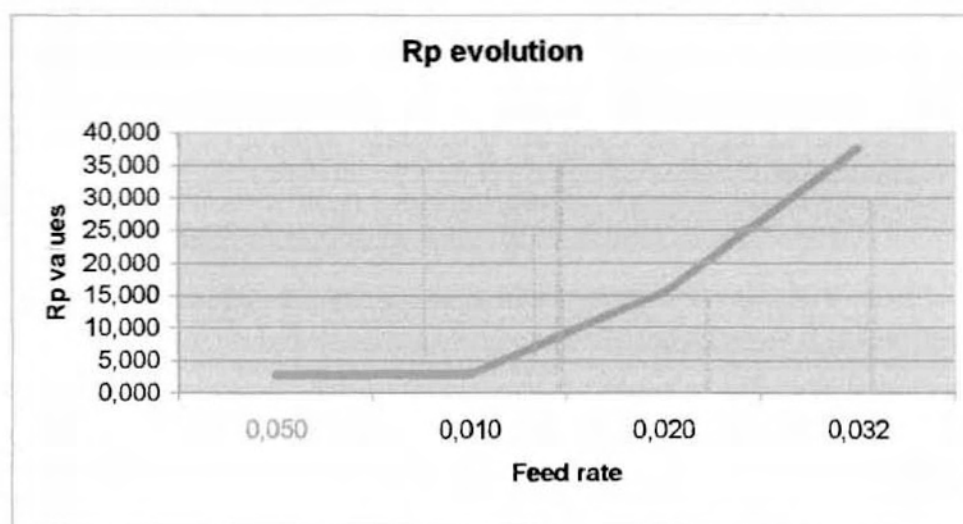
Feed rate	Average	Rt		
0,050	7,457	6,760	7,400	8,210
0,010	7,957	8,260	8,800	6,810
0,020	27,433	24,800	29,400	28,100
0,032	60,833	61,800	58,700	62,000



Στις μικρές προώσεις η Rt παραμένει σταθερή ενώ όσο αυξάνεται η πρόωση αυξάνεται και Rt

Rp - Feed rate

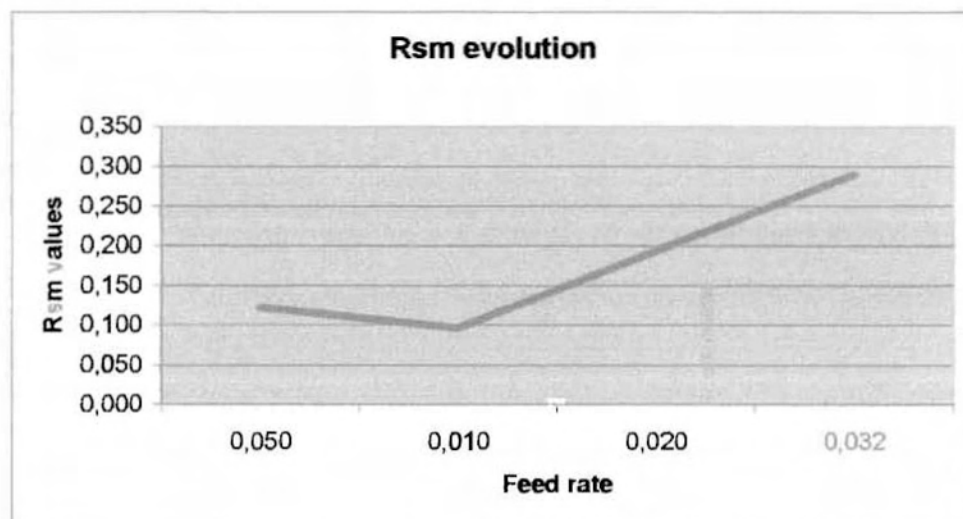
Feed rate	Average	Rp		
0,050	2,697	2,860	2,600	2,630
0,010	2,930	3,490	2,710	2,590
0,020	15,500	15,500	15,000	16,000
0,032	37,567	38,700	35,900	38,100



Στις χαμηλές προώσεις η Rp παραμένει σταθερή και στη συνέχεια αυξάνεται κατακόρυφα

Rsm - Feed rate

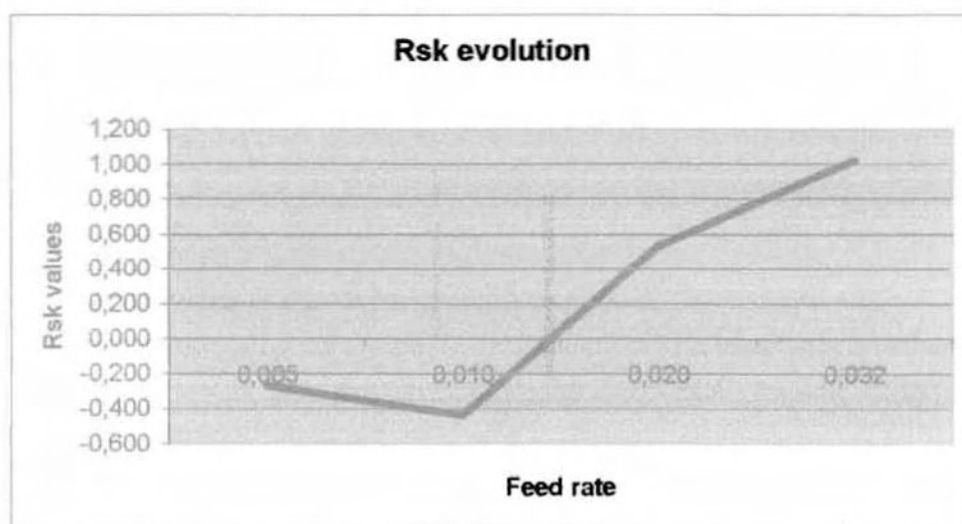
Feed rate	Average	Rsm		
0,050	0,122	0,132	0,135	0,100
0,010	0,096	0,098	0,103	0,089
0,020	0,194	0,190	0,198	0,193
0,032	0,290	0,275	0,306	0,290



Στις μικρές προώσεις η Rsm ελαφρώς μειώνεται ενώ όσο αυξάνεται η πρόωση αυξάνεται και η Rsm

Rsk - Feed rate

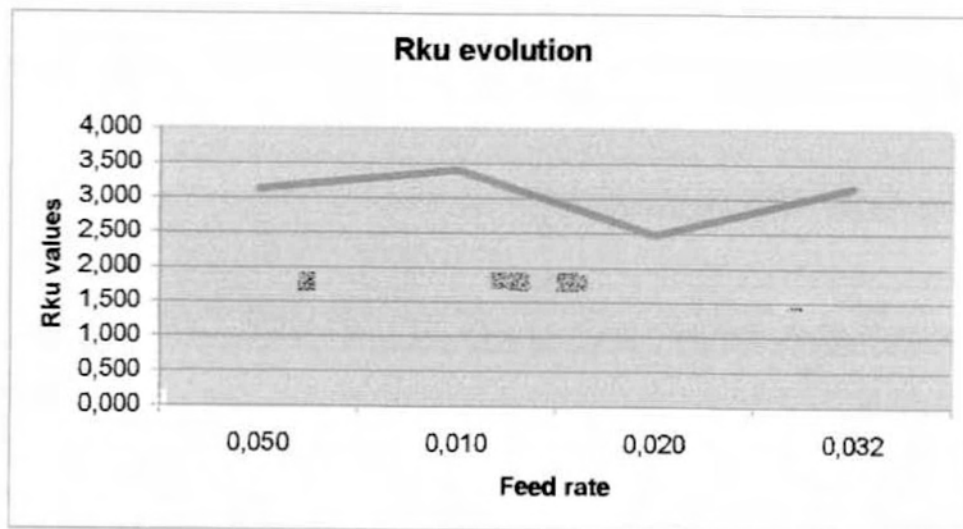
Feed rate	Average	Rsk		
0,005	-0,266	-0,293	-0,572	0,067
0,010	-0,437	-0,469	-0,788	-0,053
0,020	0,534	0,797	0,627	0,179
0,032	1,022	1,050	0,867	1,150



Στις χαμηλές προώσεις η Rsk ελαφρώς μειώνεται και μετά αυξάνεται κατακόρυφα

Rku - Feed rate

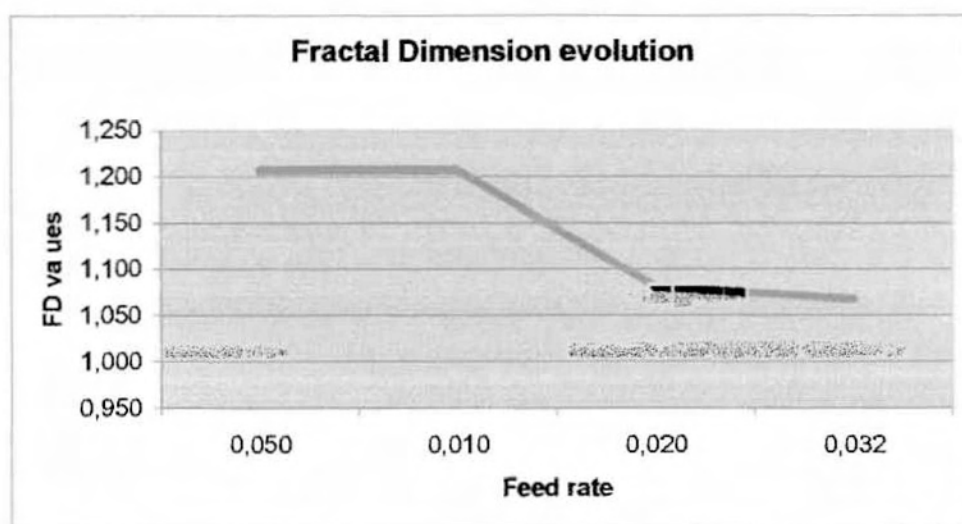
Feed rate	Average	Rku		
0,050	3,130	2,600	3,400	3,390
0,010	3,407	3,440	3,930	2,850
0,020	2,477	2,390	2,350	2,690
0,032	3,167	3,310	2,730	3,460



Στις χαμηλές προώσεις η Rku αυξάνεται, στις μεσαίες μειώνεται και στις υψηλές αζάνεται

Fractal Dimension - Feed rate

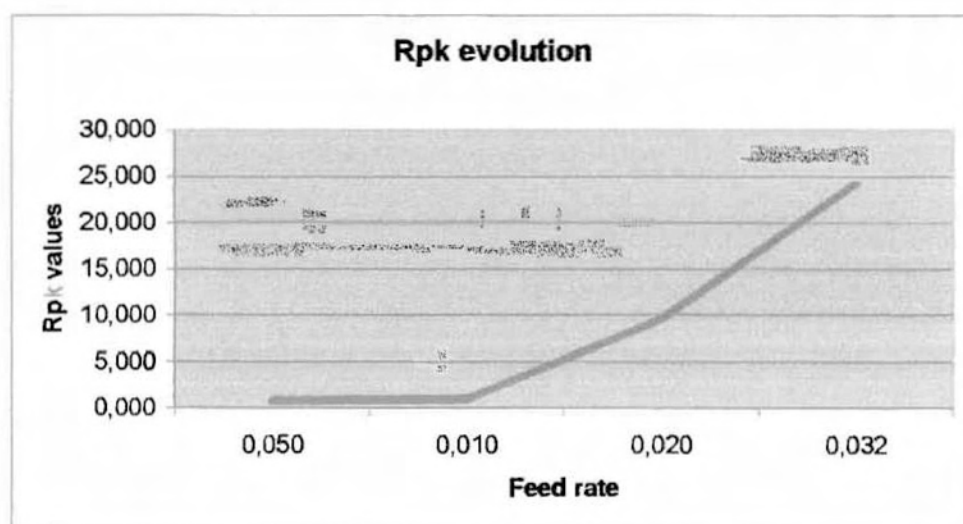
Feed rate	Average	fractal dimension		
0,050	1,207	1,190	1,210	1,220
0,010	1,207	1,130	1,240	1,250
0,020	1,080	1,060	1,080	1,100
0,032	1,067	1,040	1,110	1,050



Στις χαμηλές προώσεις η Fractal Dimension παραμένει σταθερή , στις μεσαίες μειώνεται και στις υψηλές μειώνεται ελαφρώς

Rpk - Feed rate

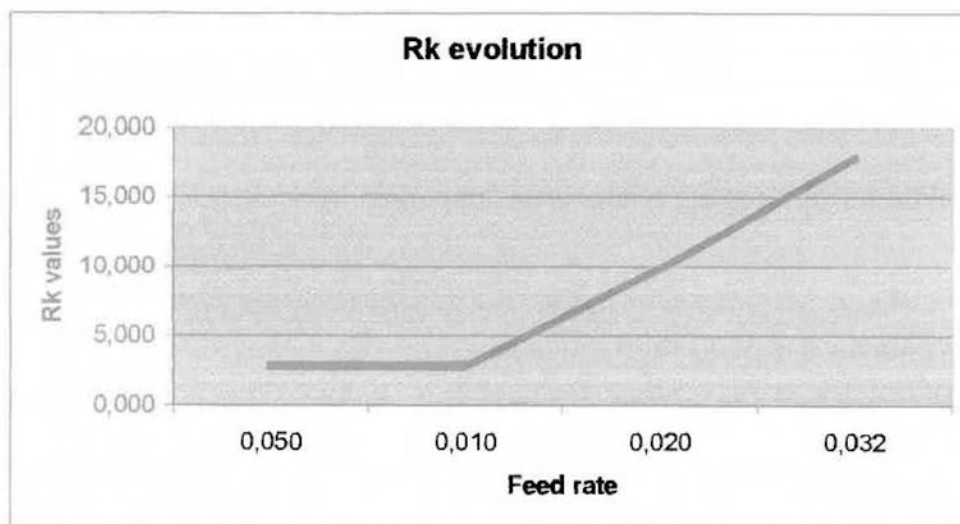
Feed rate	Average	Rpk		
0,050	0,766	0,759	0,518	1,020
0,010	0,976	0,904	1,060	0,964
0,020	9,563	9,910	9,790	8,990
0,032	24,300	20,500	21,900	30,500



Στις χαμηλές προώσεις η Rpk παραμένει σταθερή και στη συνέχεια η τιμή της αυξάνεται κατακόρυφα .

Rk - Feed rate

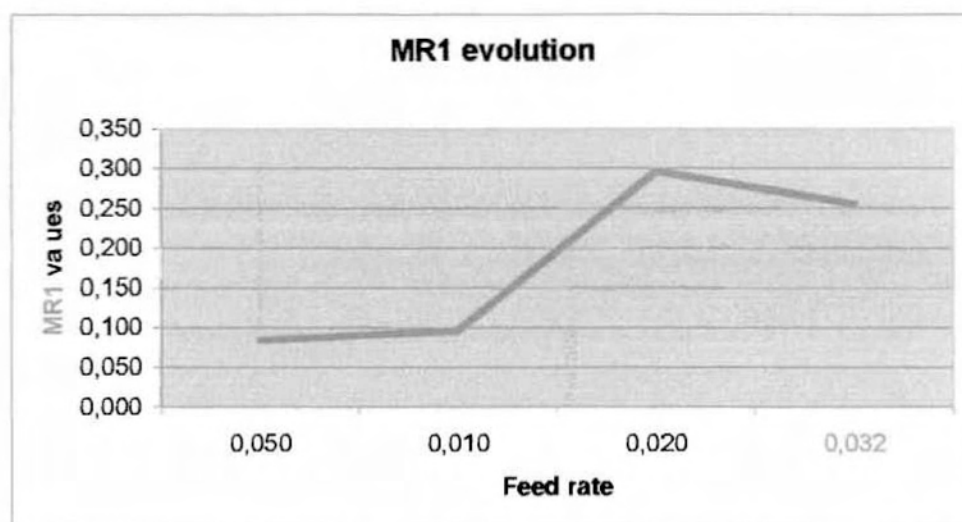
Feed rate	Average	Rk		
0,050	2,820	2,800	3,230	2,430
0,010	2,783	2,420	3,000	2,930
0,020	9,817	6,850	10,700	11,900
0,032	17,857	8,270	27,900	17,400



Στις χαμηλές προώσεις η Rk παραμένει σταθερή και στη συνέχεια η τιμή της αυξάνεται κατακόρυφα

MR1 - Feed rate

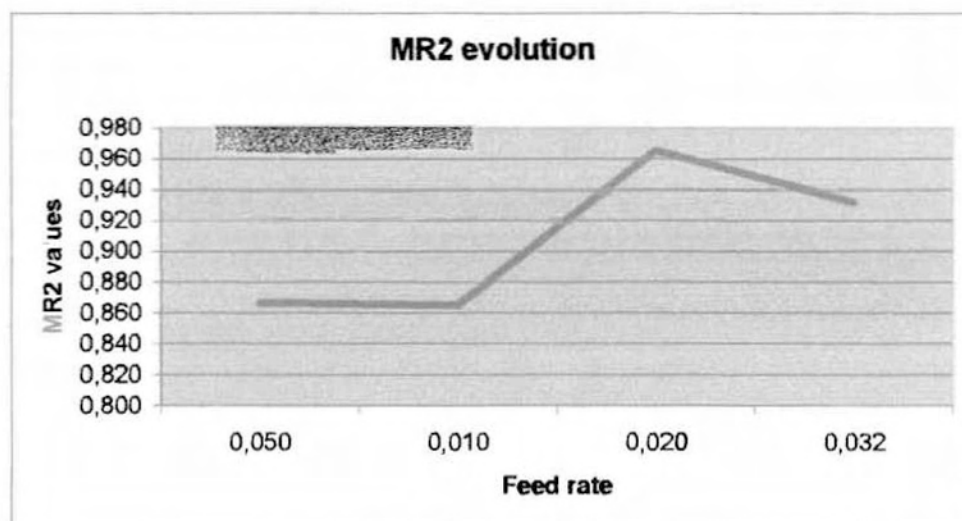
Feed rate	Average	MR1		
0,050	0,084	0,066	0,083	0,103
0,010	0,097	0,079	0,085	0,127
0,020	0,297	0,322	0,308	0,260
0,032	0,256	0,257	0,218	0,293



Στις χαμηλές προώσεις η MR1 αυξάνεται ελαφρώς , στις μεσαίες αυξάνεται κατακόρυφα η τιμή της ενώ στις υψηλές μειώνεται.

MR2 - Feed rate

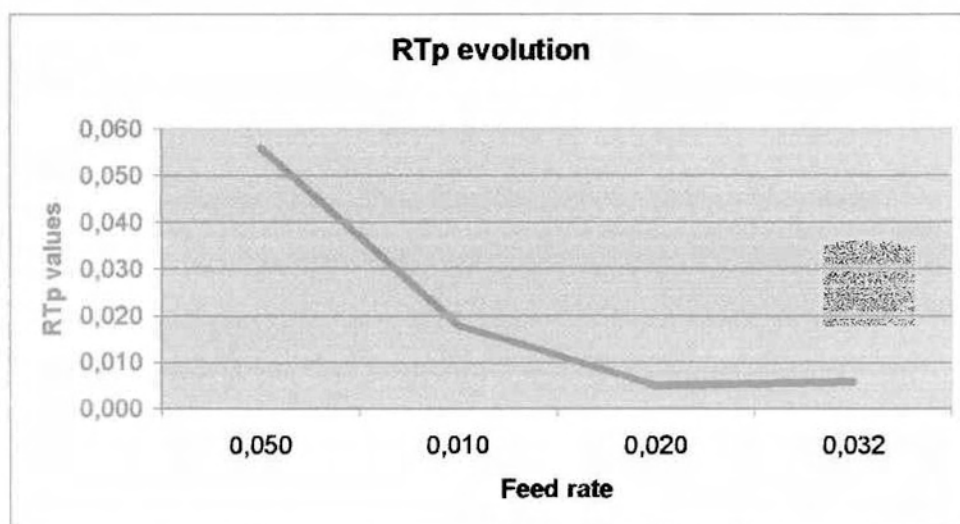
Feed rate	Average	MR2		
0,050	0,867	0,871	0,859	0,872
0,010	0,865	0,851	0,857	0,888
0,020	0,965	0,960	0,974	0,962
0,032	0,932	0,902	0,960	0,934



Στις χαμηλές προώσεις η MR2 παραμένει σταθερή, στις μεσαίες αυξάνεται κατακόρυφα ενώ στις υψηλές μειώνεται.

RTp - Feed rate

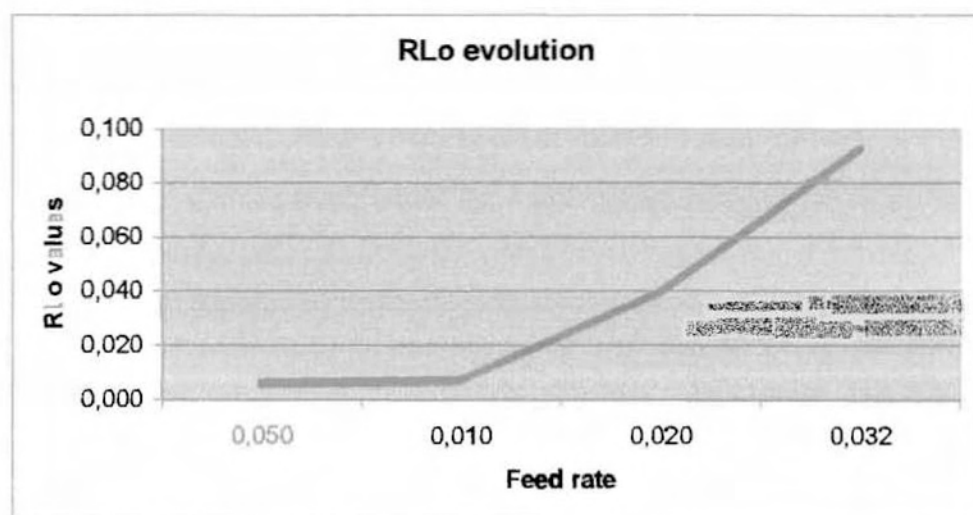
Feed rate	Average	RTp		
0,050	0,056	0,045	0,108	0,015
0,010	0,018	0,021	0,015	0,017
0,020	0,005	0,010	0,003	0,002
0,032	0,006	0,011	0,003	0,003



Στις χαμηλές και μεσαίες προώσεις η τιμή της Rtp μειώνεται κατακόρυφα ενώ στις υψηλές παραμένει σταθερή

Rlo - Feed rate

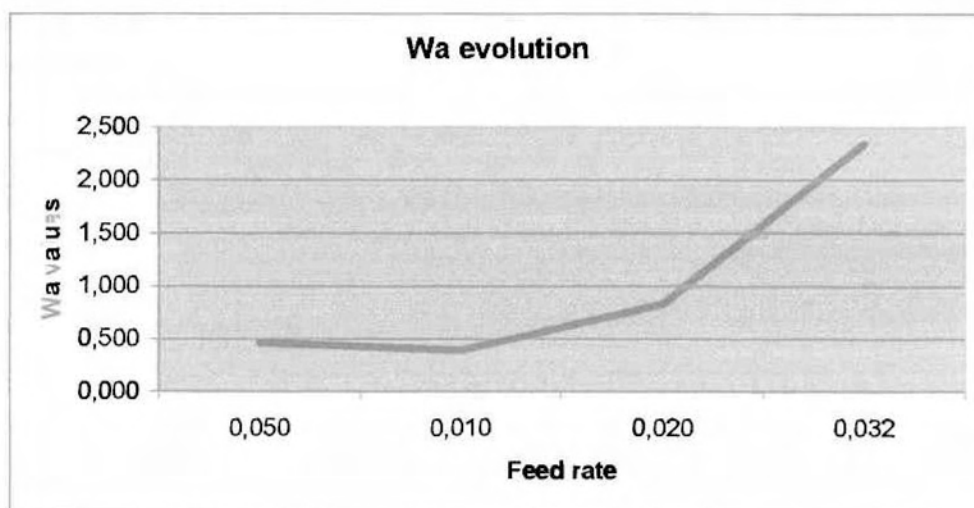
Feed rate	Average	Rlo		
0,050	0,006	0,006	0,006	0,006
0,010	0,007	0,007	0,008	0,007
0,020	0,040	0,044	0,035	0,040
0,032	0,093	0,087	0,094	0,097



Στις χαμηλές προώσεις η τιμή της Rlo παραμένει σταθερή ενώ στη συνέχεια η τιμή της αυξάνεται κατακόρυφα.

Wa - Feed rate

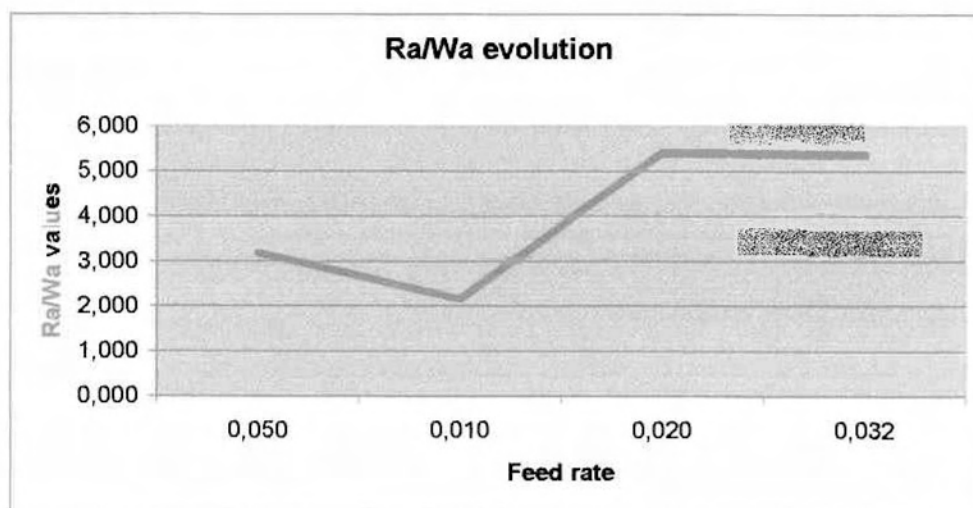
Feed rate	Average	Wa		
0,050	0,464	0,314	0,629	0,448
0,010	0,388	0,451	0,268	0,445
0,020	0,832	0,623	0,522	1,350
0,032	2,347	4,050	1,400	1,590



Στις χαμηλές προώσεις η Wa μειώνεται ελαφρώς ενώ στη συνέχεια η τιμή της αυξάνεται κατακόρυφα.

Ra/Wa - Feed rate

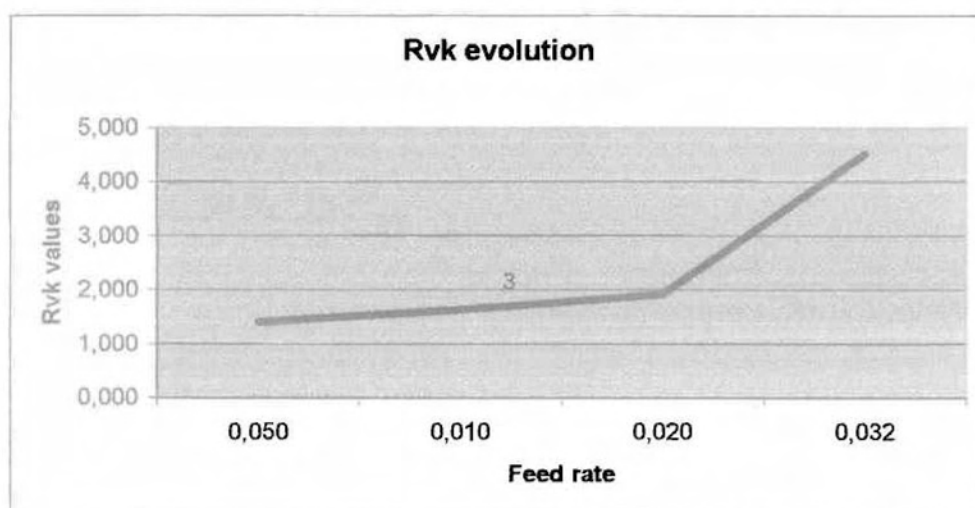
Feed rate	Average	Ra/Wa		
0,050	3,183	3,530	4,000	2,020
0,010	2,167	2,410	2,050	2,040
0,020	5,417	8,650	3,810	3,790
0,032	5,363	2,860	6,000	7,230



Στις χαμηλές προώσεις η τιμή της Ra/Wa μειώνεται, στις μεσαίες αυξάνεται ενώ στις υψηλές παραμένει σταθερή.

Rvk - Feed rate

Feed rate	Average	Rvk		
0,050	1,397	1,180	1,620	1,390
0,010	1,630	1,790	1,900	1,200
0,020	1,910	1,470	2,780	1,480
0,032	4,523	8,060	1,590	3,920

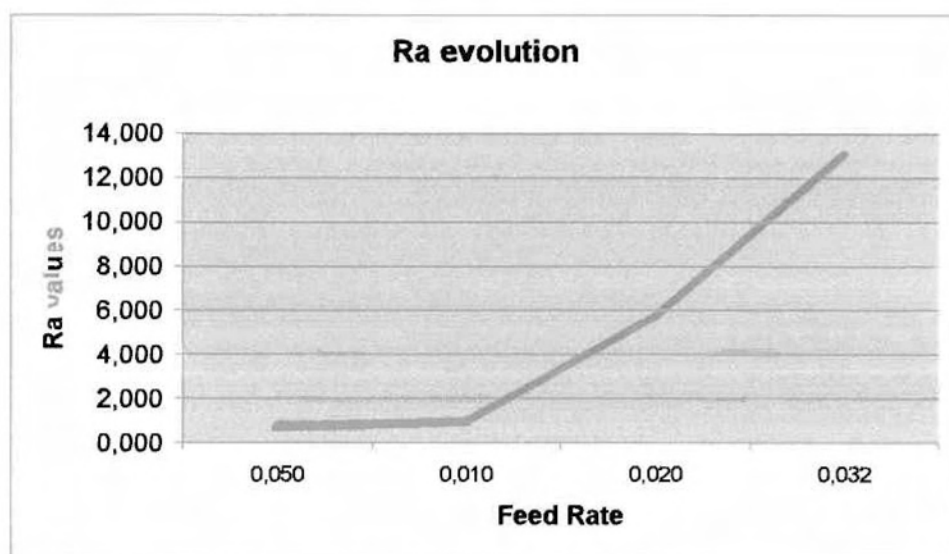


Στις χαμηλές και μεσαίες προώσεις η τιμή της Rvk αυξάνεται ελαφρώς ενώ στη συνέχεια η τιμή της αυξάνεται κατακόρυφα.

Τα διαγράμματα των παραμέτρων της τραχύτητας αφορούν τη κοπή με $v=500\text{m/min}$

Ra - Feed rate

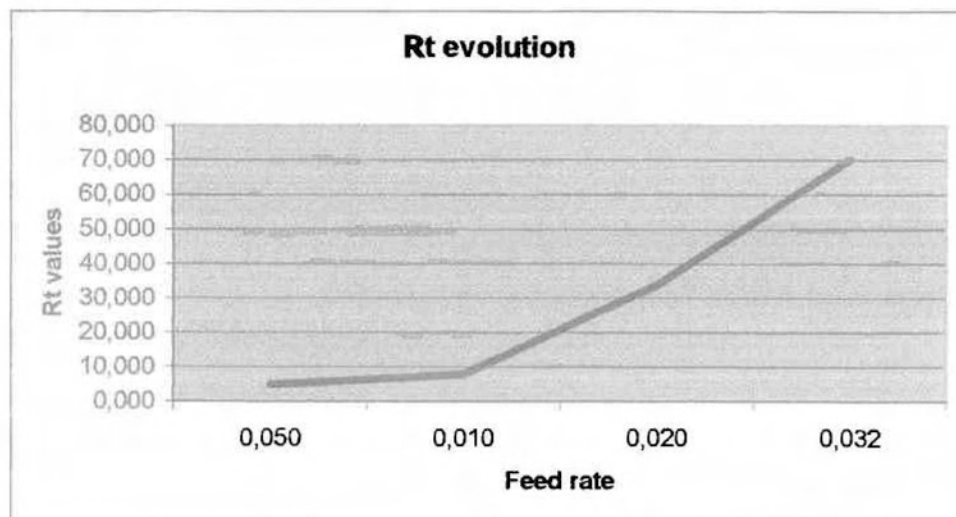
Feed rate	Average	Ra		
0,050	0,742	0,840	0,753	0,634
0,010	0,958	1,040	0,884	0,949
0,020	5,710	6,470	5,430	5,230
0,032	13,100	13,800	11,900	13,600



Στις χαμηλές προώσεις η Ra παραμένει σταθερή και στη συνέχεια αυξάνεται κατακόρυφα.

Rt - Feed rate

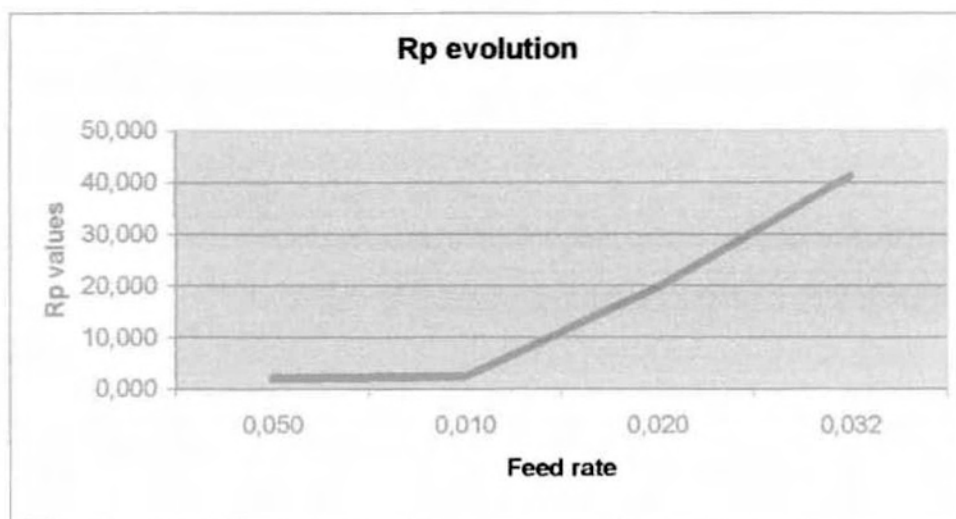
Feed rate	Average	Rt		
0,050	4,813	4,640	5,560	4,240
0,010	7,900	7,560	6,730	9,410
0,020	33,700	36,200	32,900	32,000
0,032	70,133	63,500	66,800	80,100



Στις χαμηλές προώσεις η Rt αυξάνεται ελαφρώς και στη συνέχεια αυξάνεται κατακόρυφα

Rp - Feed rate

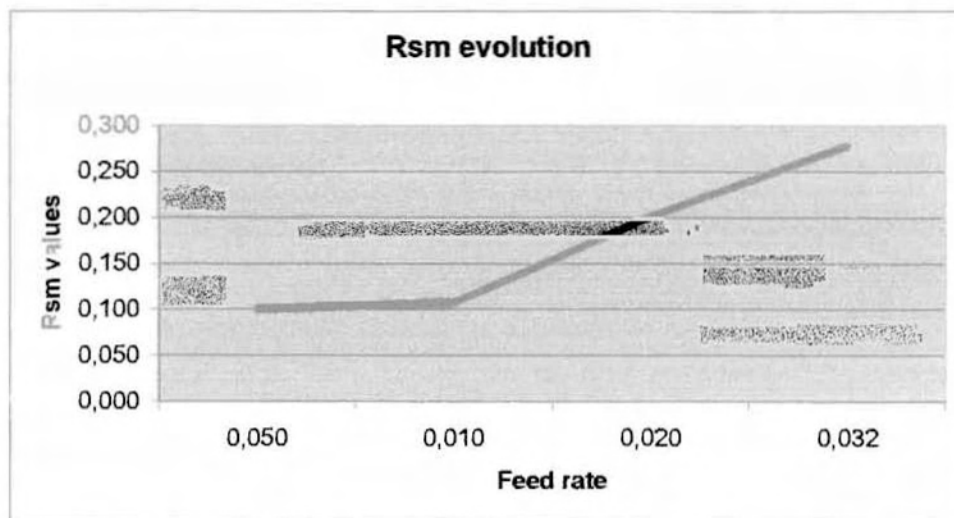
Feed rate	Average	Rp		
0,050	2,000	2,270	2,040	1,690
0,010	2,487	2,680	2,300	2,480
0,020	19,733	23,200	18,300	17,700
0,032	41,333	38,800	40,800	44,400



Στις χαμηλές προώσεις η Rp παραμένει σταθερή ενώ στις μεσαίες και υψηλές αυξάνεται κατακόρυφα

Rsm - Feed rate

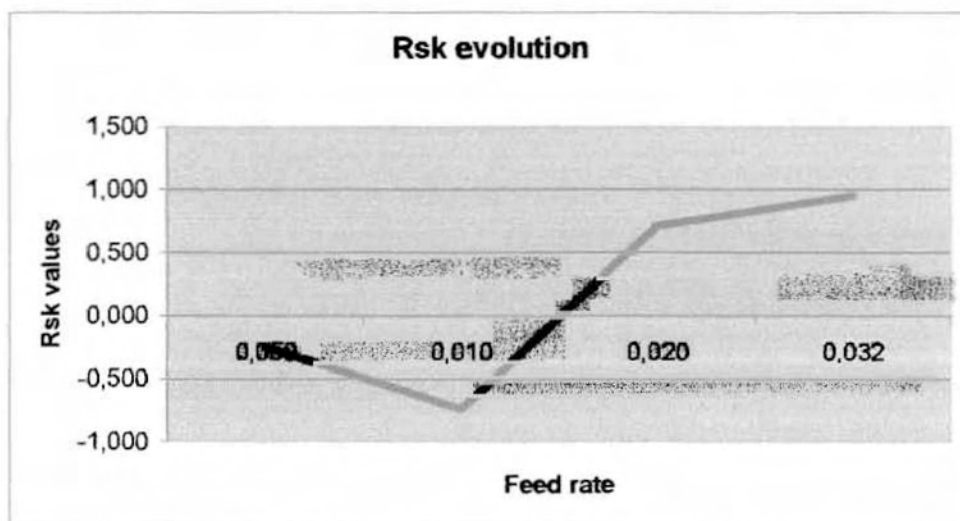
Feed rate	Average	Rsm		
0,050	0,100	0,083	0,108	0,110
0,010	0,107	0,083	0,100	0,137
0,020	0,201	0,218	0,200	0,185
0,032	0,278	0,292	0,252	0,291



Στις χαμηλές προώσεις η Rsm παραμένει σταθερή και στη συνέχεια αυξάνεται κατακόρυφα.

Rsk - Feed rate

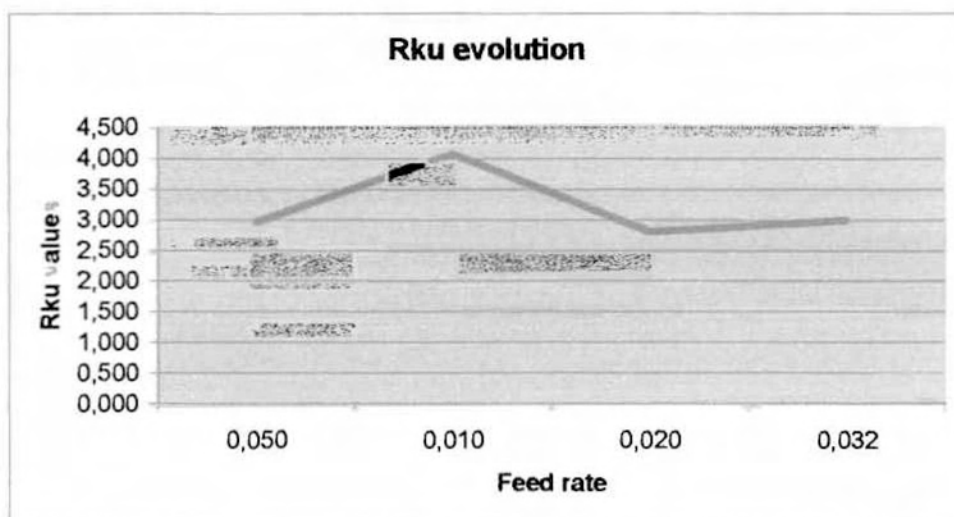
Feed rate	Average	Rsk		
0,050	-0,247	-0,055	-0,603	-0,083
0,010	-0,743	-0,496	-0,623	-1,110
0,020	0,717	0,811	0,732	0,609
0,032	0,957	0,916	0,894	1,060



Στις χαμηλές προώσεις η Rsk μειώνεται , στις μεσαίες προώσεις αυξάνεται ενώ στις υψηλές αυξάνεται ελαφρώς.

Rku - Feed rate

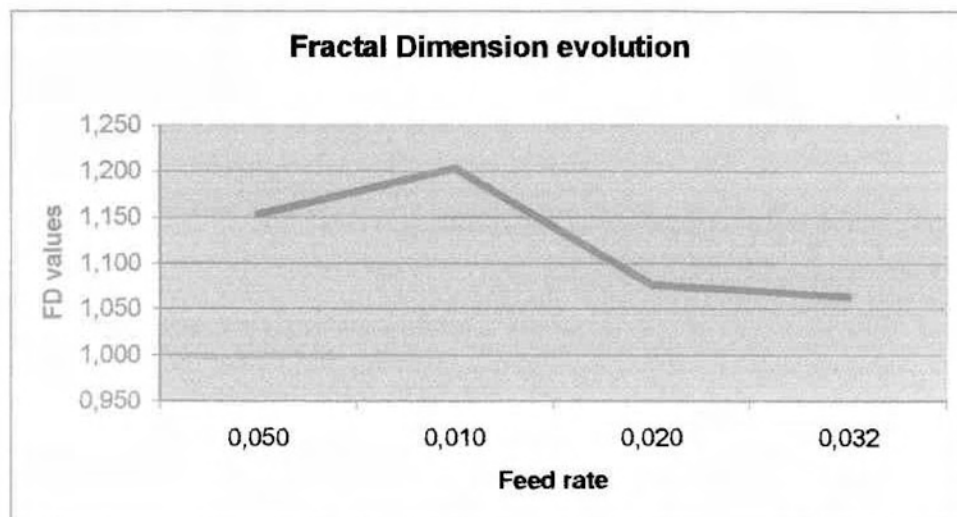
Feed rate	Average	Rku		
0,050	2,963	2,500	3,570	2,820
0,010	4,083	3,580	3,180	5,490
0,020	2,803	3,010	2,720	2,680
0,032	2,993	2,530	3,050	3,400



Στις χαμηλές προώσεις η τιμή της Rku αυξάνεται, στις μεσαίες μειώνεται ενώ στις υψηλές προώσεις αυξάνεται ελαφρώς.

Fractal Dimension - Feed rate

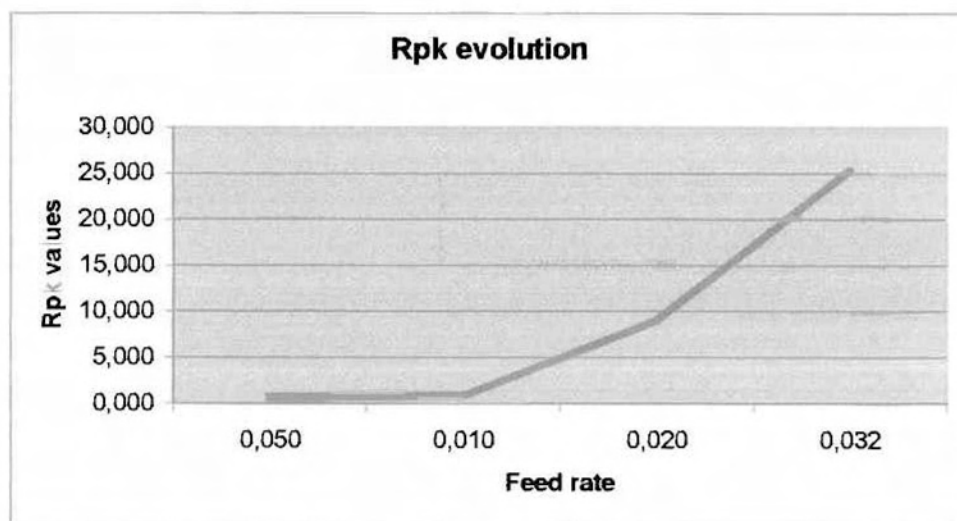
Feed rate	Average	fractal dimension		
0,050	1,153	1,120	1,210	1,130
0,010	1,203	1,140	1,240	1,230
0,020	1,077	1,070	1,080	1,080
0,032	1,063	1,030	1,040	1,120



Στις χαμηλές προώσεις η Fractal Dimension αυξάνεται, στις μεσαίες προώσεις μειώνεται και στη συνέχεια μειώνεται ελαφρώς.

Rpk - Feed rate

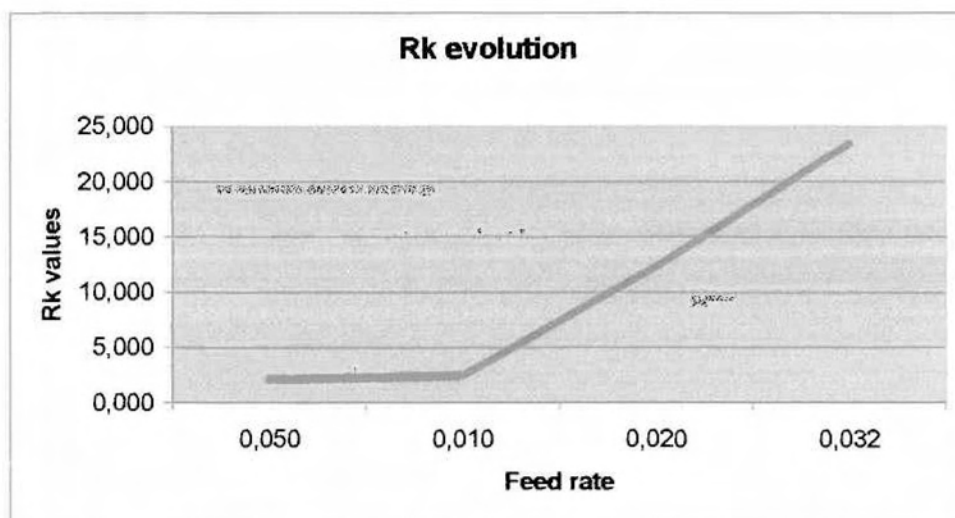
Feed rate	Average	Rpk		
0,050	0,611	0,505	0,692	0,637
0,010	0,875	0,934	0,772	0,919
0,020	9,077	10,200	9,040	7,990
0,032	25,400	22,600	26,500	27,100



Στις χαμηλές προώσεις η τιμή της Rpk παραμένει σταθερή και σελ συνέχεια αυξάνεται κατακόρυφα.

Rk - Feed rate

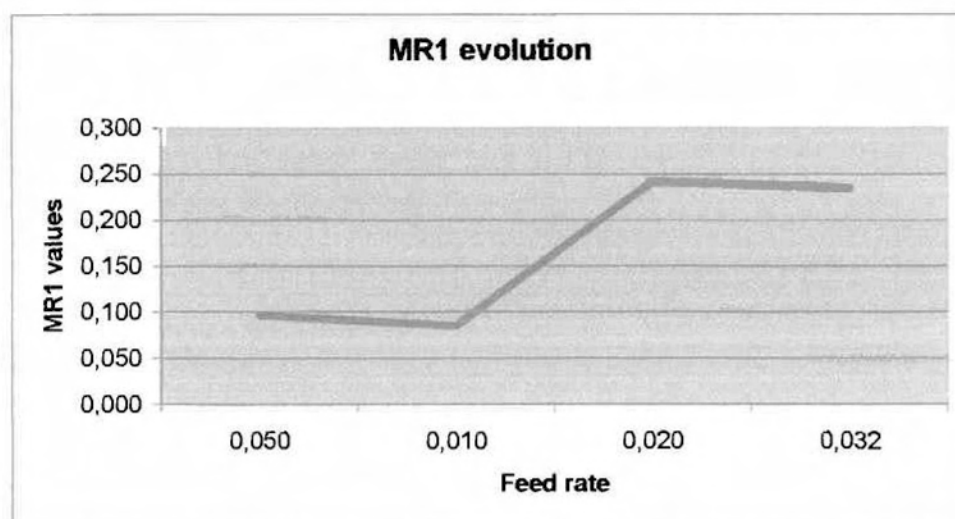
Feed rate	Average	Rk		
0,050	2,083	2,050	2,230	1,970
0,010	2,420	2,490	2,300	2,470
0,020	12,300	8,500	13,100	15,300
0,032	23,467	11,200	26,700	32,500



Στις χαμηλές προώσεις η Rk παραμένει σταθερή και στη συνέχεια η τιμή της αυξάνεται κατακόρυφα.

MR1 - Feed rate

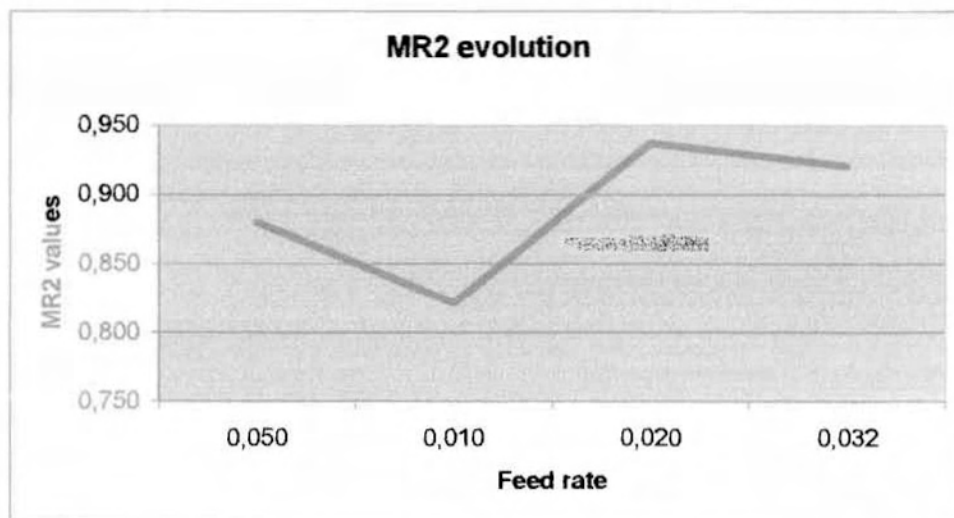
Feed rate	Average	MR1		
0,050	0,096	0,093	0,109	0,087
0,010	0,085	0,066	0,109	0,079
0,020	0,242	0,298	0,241	0,187
0,032	0,234	0,252	0,244	0,207



Στις χαμηλές προώσεις η MR1 μειώνεται ελαφρώς ,στις μεσαίες αυξάνεται ενώ στις υψηλές μειώνεται ελαφρώς.

MR2 - Feed rate

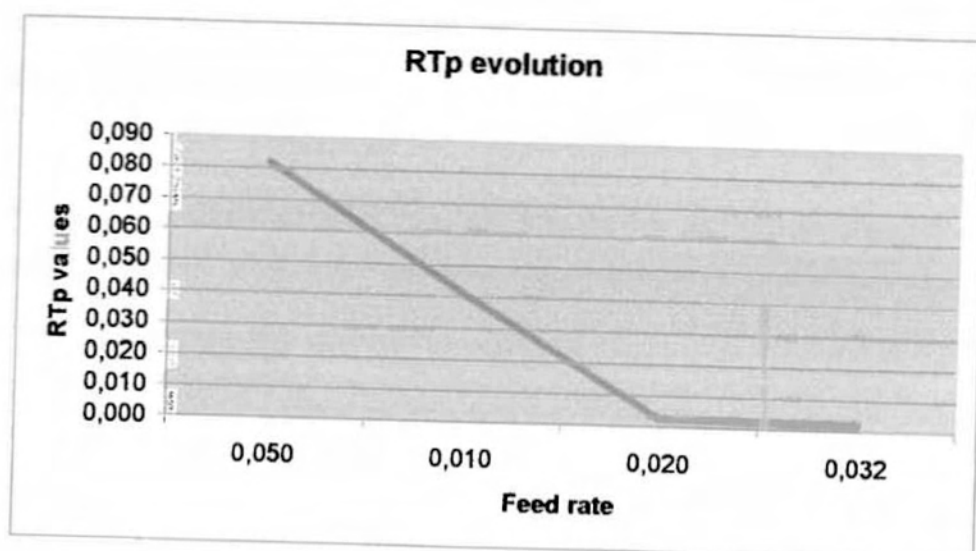
Feed rate	Average	MR2		
0,050	0,880	0,867	0,901	0,872
0,010	0,821	0,834	0,814	0,816
0,020	0,937	0,948	0,939	0,925
0,032	0,921	0,881	0,929	0,952



Στις χαμηλές προώσεις η τιμή της MR2 μειώνεται κατακόρυφα , στις μεσαίες αυξάνεται κατακόρυφα ενώ στις υψηλές μειώνεται ελαφρώς.

RTp - Feed rate

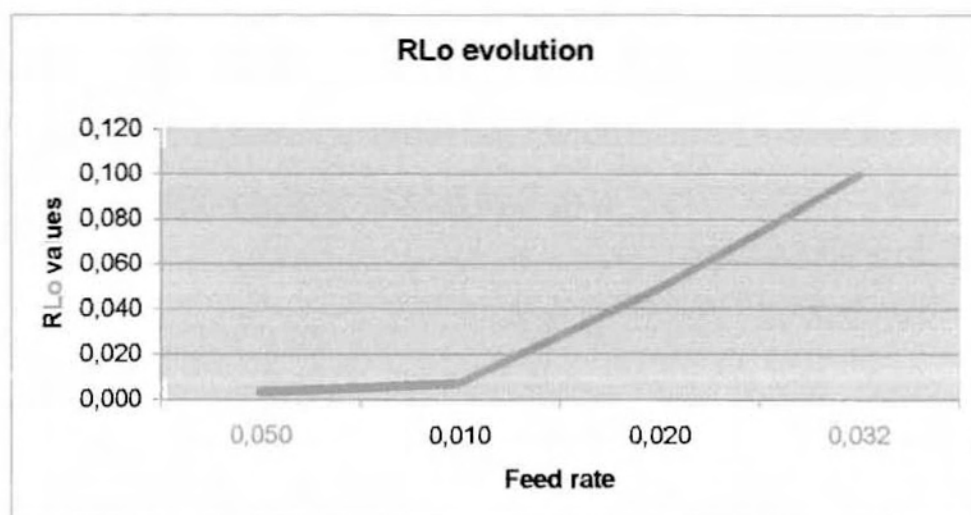
Feed rate	Average	RTp		
0,050	0,082	0,090	0,049	0,109
0,010	0,041	0,056	0,017	0,050
0,020	0,003	0,004	0,002	0,002
0,032	0,002	0,004	0,001	0,001



Στις χαμηλές και μεσαίες προώσεις η τιμή της RTp μειώνεται κατακόρυφα ενώ στις υψηλές παραμένει σταθερή.

RLo - Feed rate

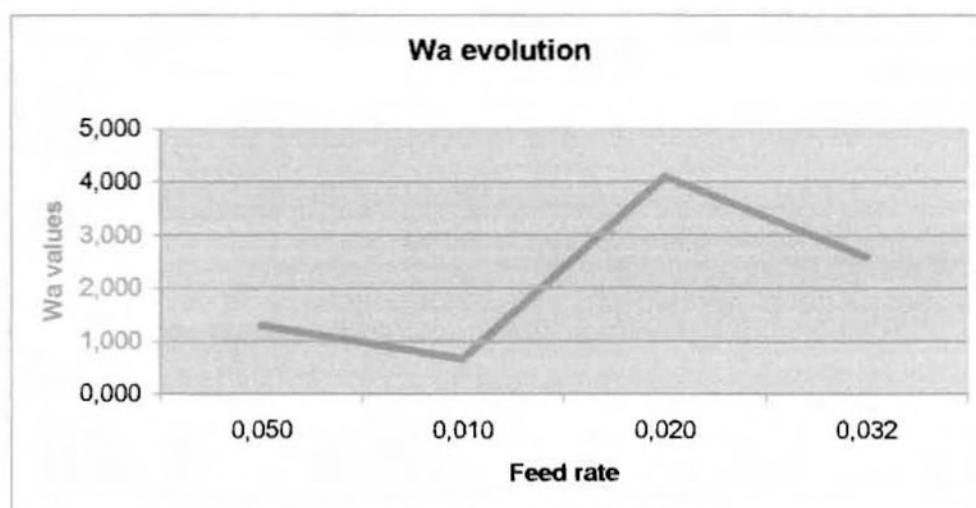
Feed rate	Average	Rlo		
0,050	0,003	0,005	0,003	0,003
0,010	0,007	0,009	0,005	0,006
0,020	0,049	0,059	0,046	0,042
0,032	0,100	0,108	0,085	0,106



Στις χαμηλές προώσεις η τιμή της Rlo αυξάνεται ελαφρώς και στη συνέχεια αυξάνεται κατακόρυφα.

Wa - Feed rate

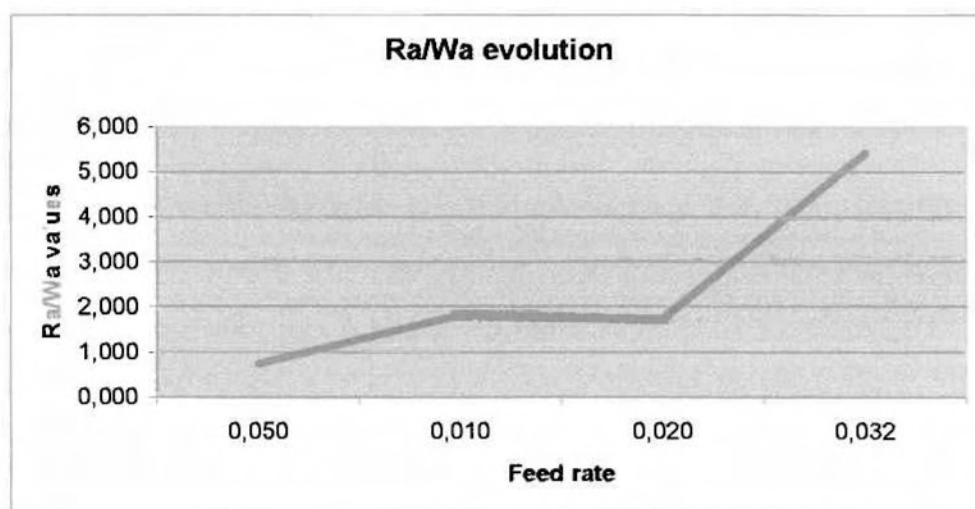
Feed rate	Average	Wa		
0,050	1,296	0,617	1,920	1,350
0,010	0,665	0,315	0,868	0,812
0,020	4,100	4,420	1,930	5,950
0,032	2,590	2,520	1,820	3,430



Στις χαμηλές προώσεις η Wa μειώνεται ,στις μεσαίες αυξάνεται και στις υψηλές προώσεις μειώνεται.

Ra/Wa - Feed rate

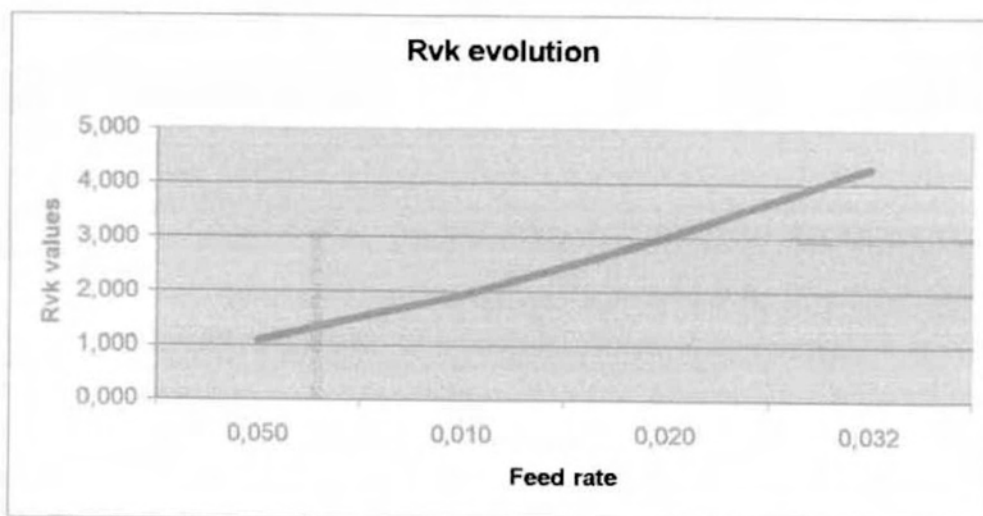
Feed rate	Average	Ra/Wa		
0,050	0,741	1,360	0,392	0,470
0,010	1,822	3,301	0,997	1,168
0,020	1,716	1,460	2,810	0,878
0,032	5,428	5,480	6,840	3,965



Στις χαμηλές προώσεις η Ra/Wa αυξάνεται, στις μεσαίες η τιμή της παραμένει σταθερή και στις υψηλές προώσεις αυξάνεται κατακόρυφα.

Rvk - Feed rate

Feed rate	Average	Rvk		
0,050	1,090	0,656	1,730	0,885
0,010	1,937	1,740	1,780	2,290
0,020	3,013	2,490	2,010	4,540
0,032	4,313	4,540	5,690	2,710



Η τιμή της Rvk αυξάνει όταν αυξάνεται και η πρόωση.

4.3 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΟΠΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ

Minitab Project Report

General Linear Model: Fz; Fx; Fy versus

Factor Type Levels Values

Analysis of Variance for Fz, using Sequential SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
v	1	11,4796	2,7159	11,4796	80,93	0,000
f	1	24,4067	1,5583	24,4067	172,07	0,000
v*v	1	1,5292	1,5292	1,5292	10,78	0,017
f*f	1	0,5503	0,5503	0,5503	3,88	0,096
v*f	1	0,2934	0,2934	0,2934	2,07	0,200
Error	6	0,8510	0,8510	0,1418		
Total	11	39,1102				

S = 0,376614 R-Sq = 97,82% R-Sq(adj) = 96,01%

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	23,321	1,475	15,81	0,000
v	-0,037416	0,008551	-4,38	0,005
f	0,20221	0,06101	3,31	0,016
v*v	0,000039	0,000012	3,28	0,017
f*f	-0,002799	0,001421	-1,97	0,096
v*f	0,000121	0,000084	1,44	0,200

Analysis of Variance for Fx, using Sequential SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
v	1	15,467	0,183	15,467	25,27	0,002
f	1	37,086	0,194	37,086	60,59	0,000
v*v	1	0,015	0,015	0,015	0,02	0,881
f*f	1	0,053	0,053	0,053	0,09	0,779
v*f	1	0,792	0,792	0,792	1,29	0,299
Error	6	3,672	3,672	0,612		
Total	11	57,084				

S = 0,782347 R-Sq = 93,57% R-Sq(adj) = 88,21%

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	25,405	3,065	8,29	0,000
v	-0,00971	0,01776	-0,55	0,604
f	0,0714	0,1267	0,56	0,594
v*v	-0,000004	0,000024	-0,16	0,881
f*f	0,000866	0,002952	0,29	0,779

4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

v*f 0,000199 0,000175 1,14 0,299

Analysis of Variance for Fy, using Sequential SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
v	1	28,21	7,87	28,21	22,93	0,003
f	1	730,54	25,17	730,54	593,84	0,000
v*v	1	3,52	3,52	3,52	2,86	0,142
f*f	1	3,11	3,11	3,11	2,53	0,163
v*f	1	6,57	6,57	6,57	5,34	0,060
Error	6	7,38	7,38	1,23		
Total	11	779,34				

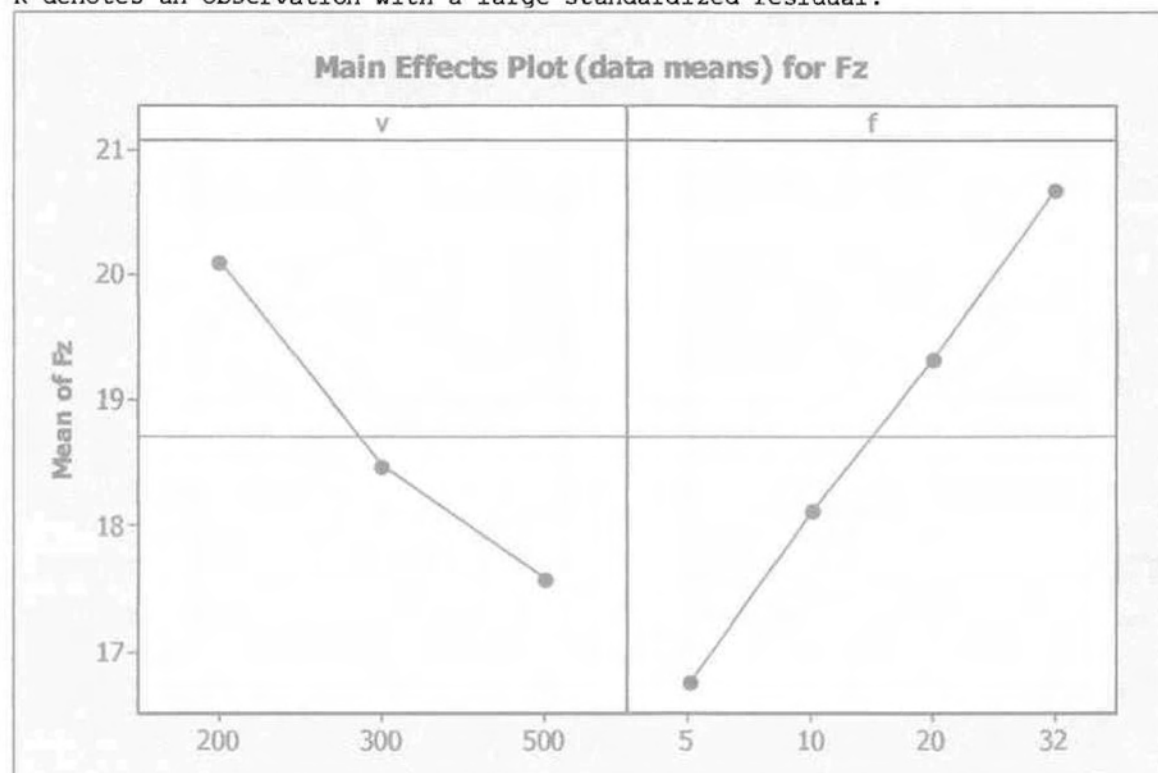
S = 1,10914 R-Sq = 99,05% R-Sq(adj) = 98,26%

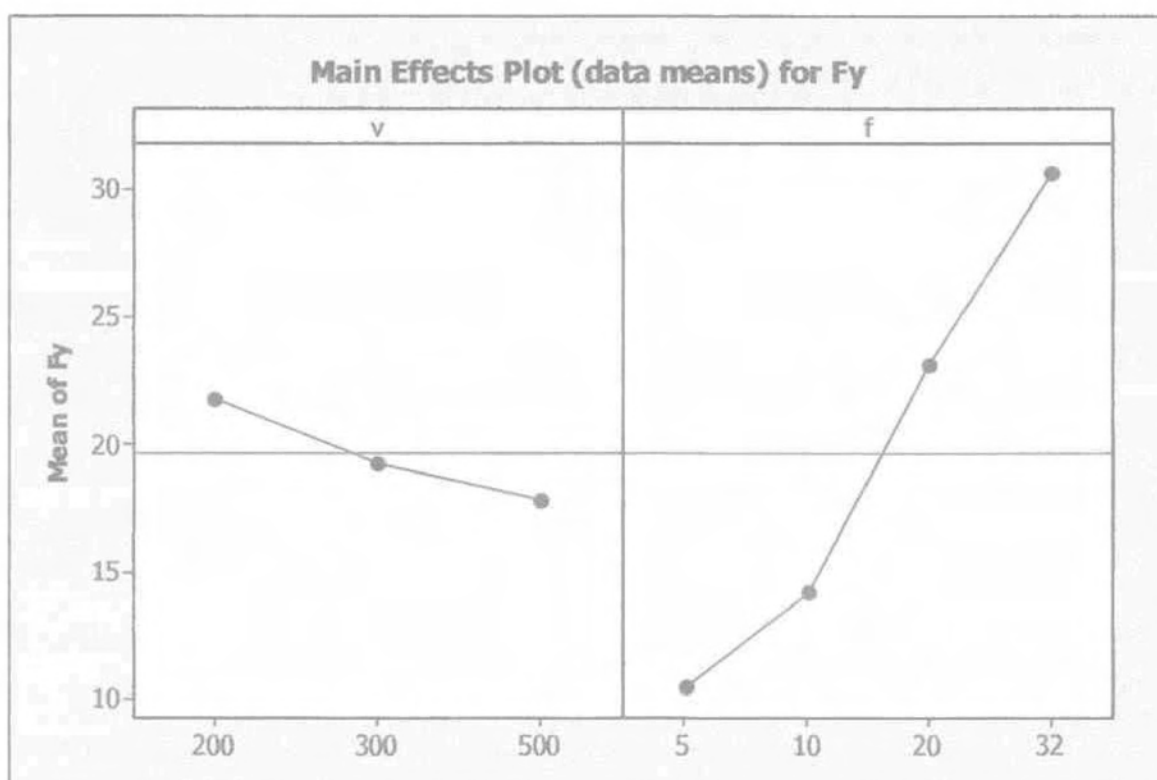
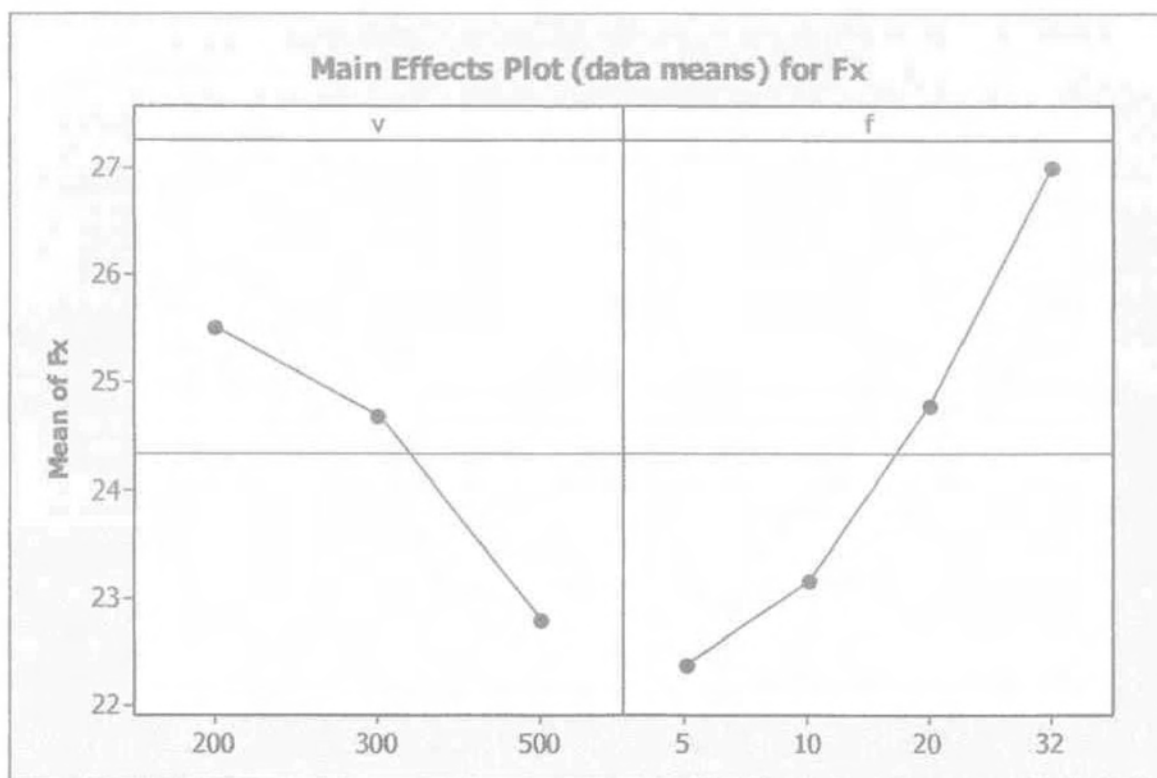
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	19,186	4,345	4,42	0,004
v	-0,06371	0,02518	-2,53	0,045
f	0,8126	0,1797	4,52	0,004
v*v	0,000059	0,000035	1,69	0,142
f*f	-0,006655	0,004185	-1,59	0,163
v*f	0,000574	0,000249	2,31	0,060

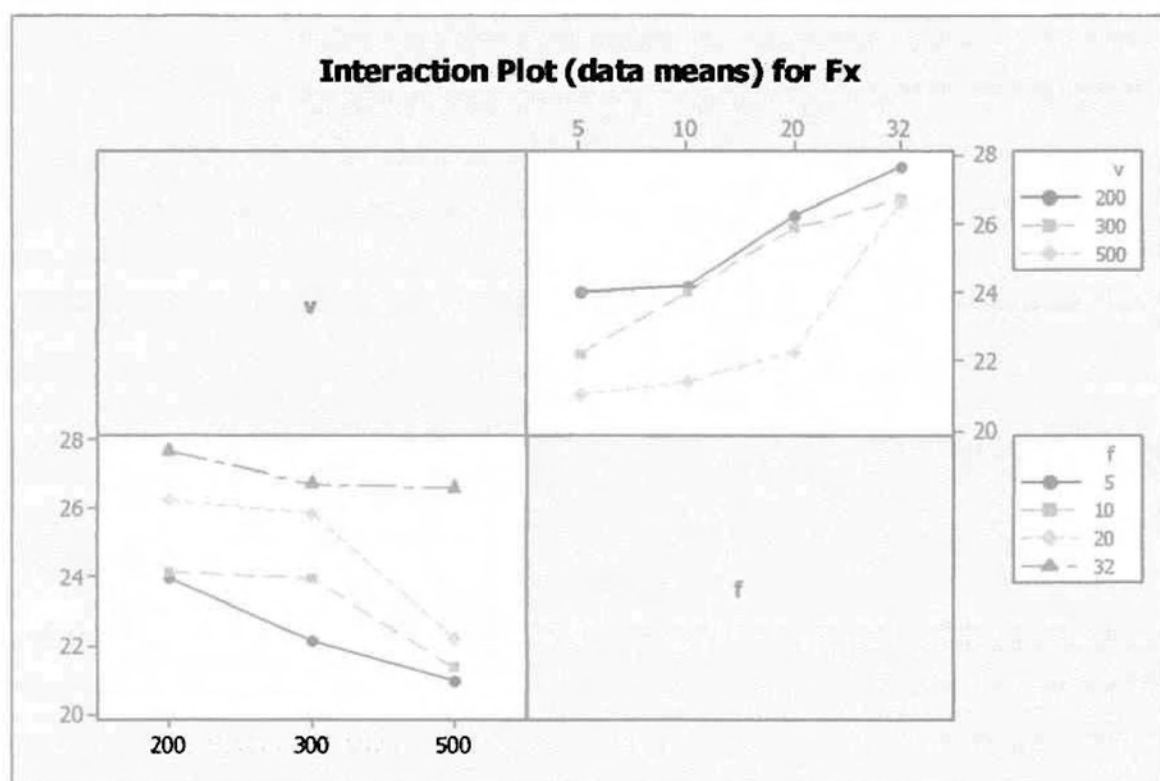
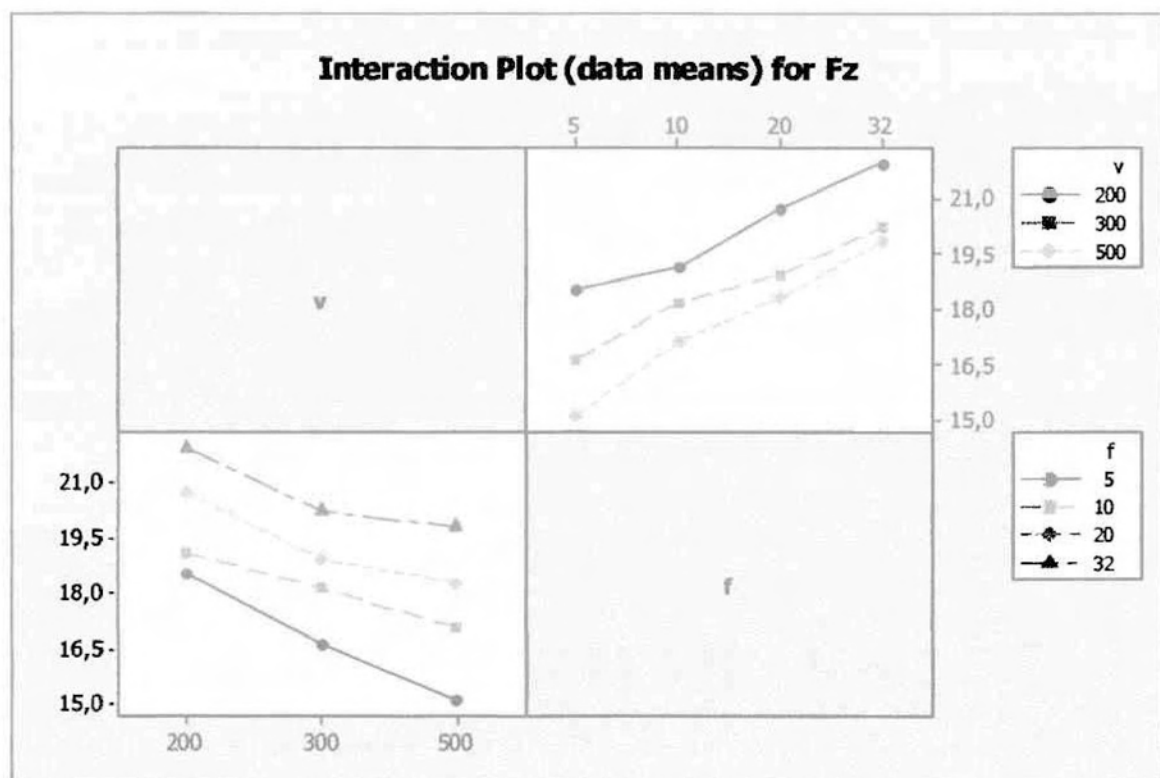
Unusual Observations for Fy

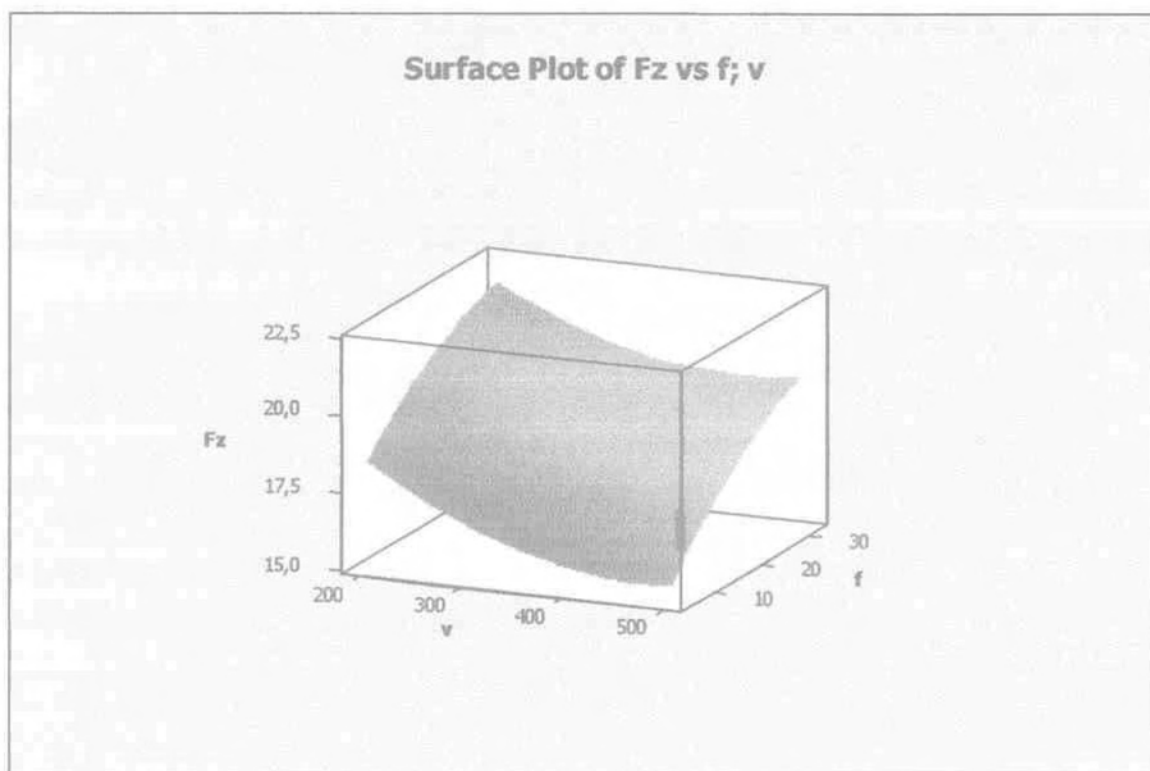
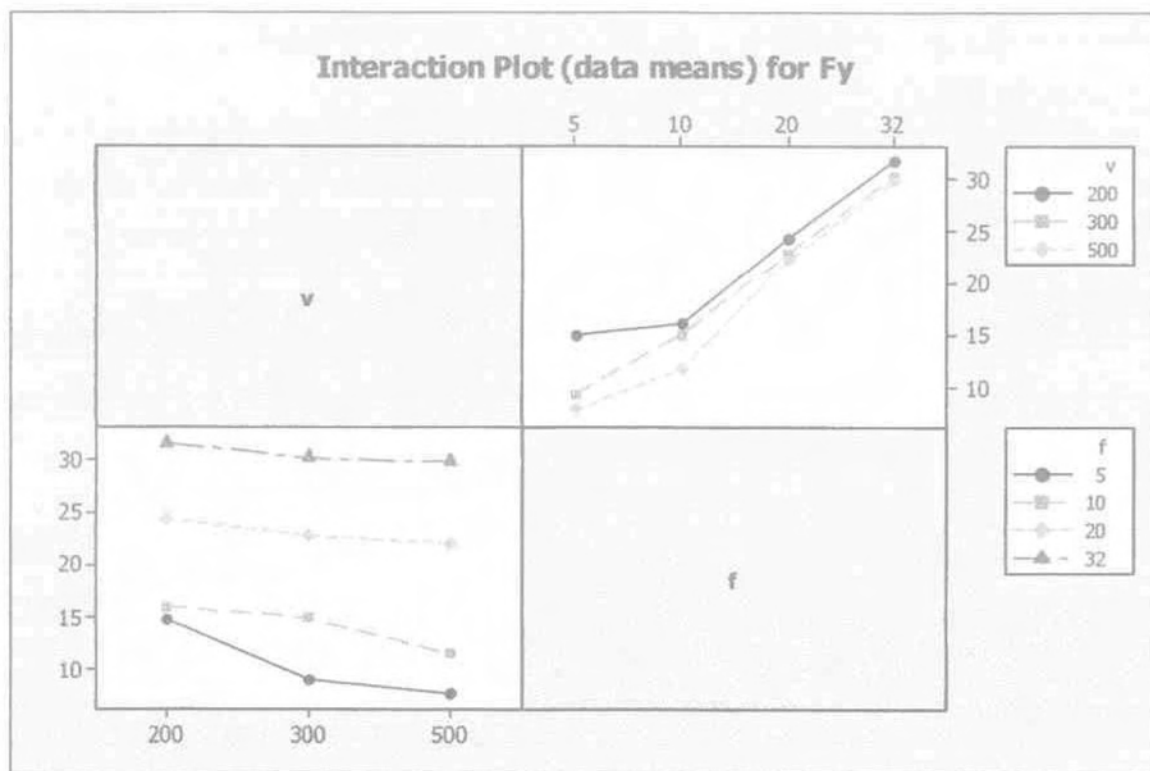
Obs	Fy	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	14,8010	13,2561	0,8338	1,5450	2,11 R

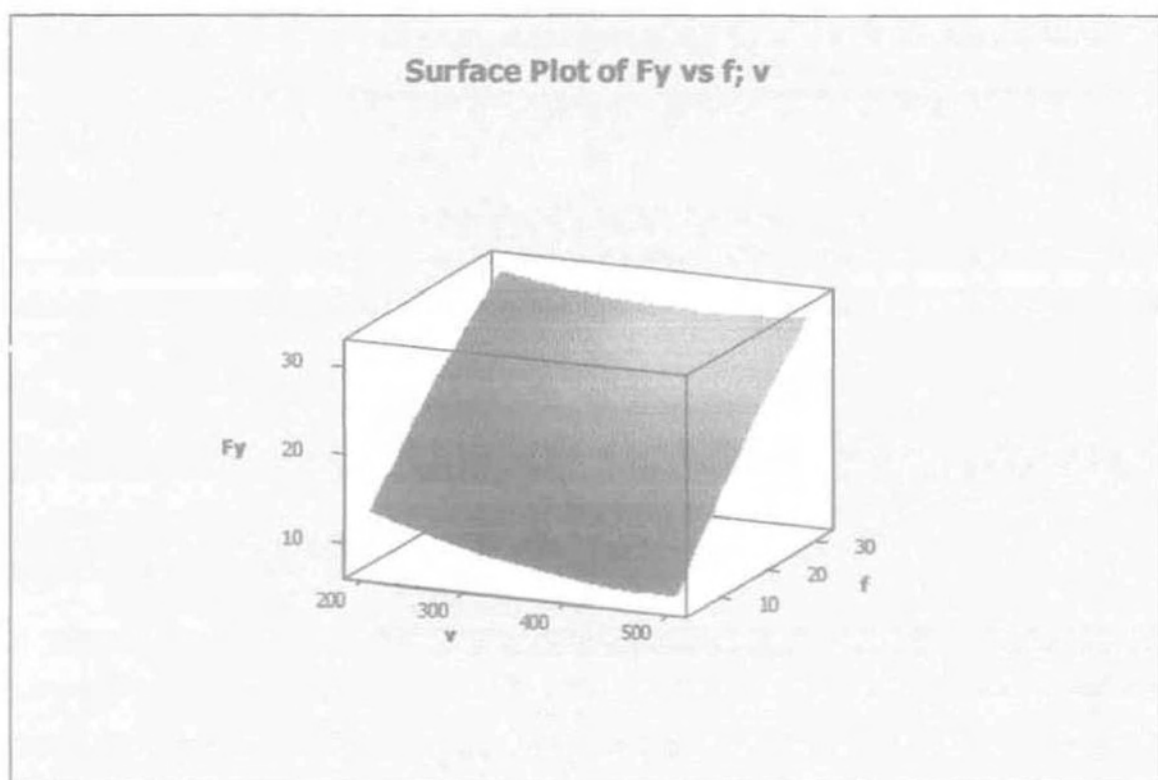
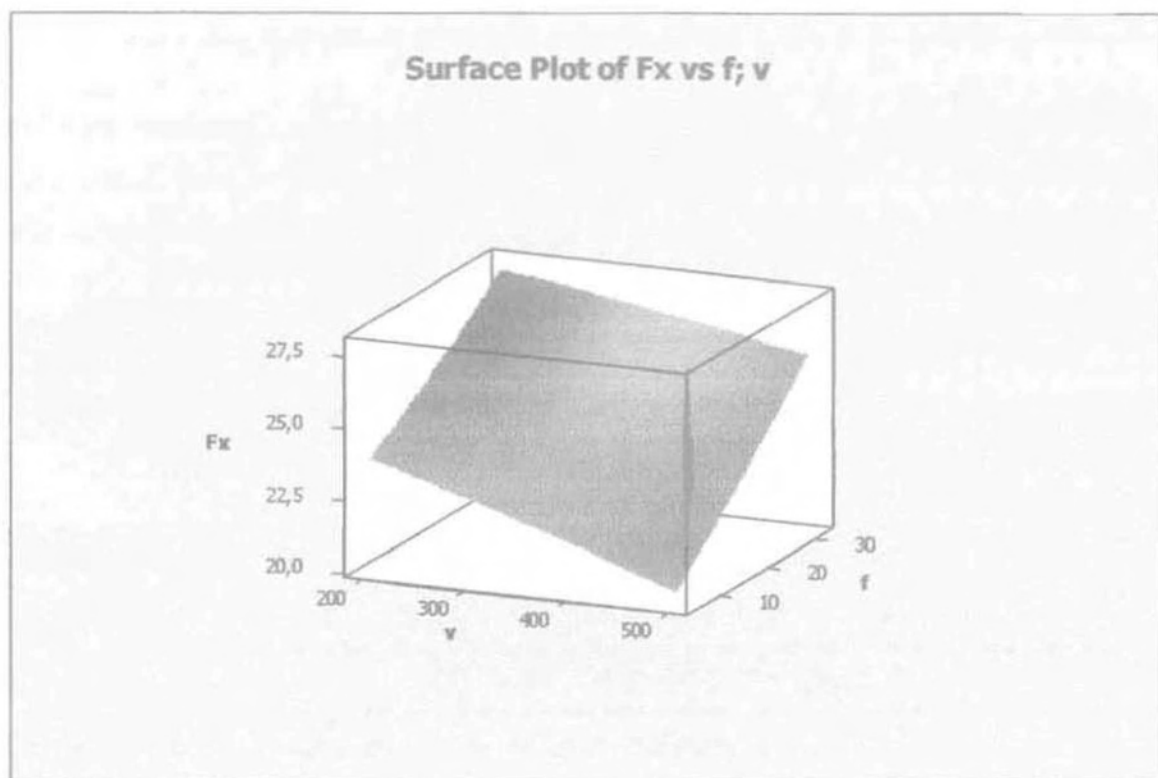
R denotes an observation with a large standardized residual.











Το πρόγραμμα που χρησιμοποιείται για τη λήψη των διαγραμμάτων είναι το Minitab Project Report . Από την analysis of variance για κάθε παράμετρο μπορούμε να παράγουμε τις εξής σχέσεις:

$$F_z = 23.321 - 0.037416V + 0.20221f + 0.000039V^2 - 0.002799f^2 + 0.000121Vf$$

$$F_x = 25405 - 0.00971V + 0.0714f - 0.000004V^2 + 0.000866f^2 + 0.000199Vf$$

$$F_y = 19.186 - 0.06371V + 0.8126f + 0.000059V^2 - 0.006655f^2 + 0.000574Vf$$

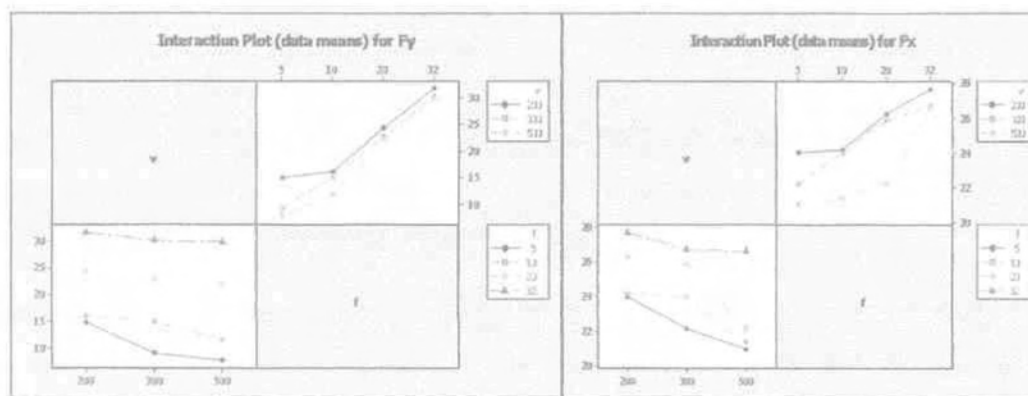
5.ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η προσεκτική μελέτη του πολυμερούς υλικού ertacetαι κατά την κατεργασία της τórνευσής του και η εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων όσον αναφορά την φθορά του κοπτικού εργαλείου κατά την τórνευση, την μορφή των αποβλήτων, τις δυνάμεις κοπής και την ποιότητα της κατεργαζόμενης επιφάνειας.

Κατά την τórνευση παρατηρήθηκε μηδενική φθορά του κοπτικού εργαλείου σε σεβαστό εύρος συνθηκών κοπής. Το συγκεκριμένο φαινόμενο παρατηρήθηκε λόγω της σκληρότητας του κοπτικού εργαλείου και ταυτόχρονα της σύνθεσης του πολυμερούς. Επίσης από την μελέτη των αποβλήτων καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι μικρές τιμές ταχύτητας κοπής και πρόωσης δίνουν συνεχές απόβλητο ενώ μεσαίες και υψηλές τιμές ταχύτητας κοπής και πρόωσης δίνουν ασυνεχές απόβλητο.

Για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων για την ποιότητα της κατεργαζόμενης επιφάνειας μελετήσαμε την ομάδα παραμέτρων R_k . Παρατηρήθηκε η ποιοτική εξάρτηση πολλών παραμέτρων όπως η R_a , R_p , R_t , MR_1 , MR και Fractal Dimension από την πρόωση και όχι από την ταχύτητα κοπής. Το συγκεκριμένο γεγονός θα μπορούσε να μελετηθεί περαιτέρω με μεγαλύτερη ποικιλία προώσεων και ταχυτήτων κοπής για ασφαλέστερα συμπεράσματα.

Βασικό αντικείμενο της εργασίας παραμένει η ποιοτική και ποσοτική εξάρτηση των δυνάμεων κοπής από την πρόωση και από την ταχύτητα κοπής. Ποιοτικά όπως παρουσιάστηκε στο 4^ο κεφάλαιο, και ενδεικτικά κάποια σχεδιαγράμματα ακολουθούν, όσο αυξάνεται η πρόωση αυξάνονται και οι δυνάμεις ενώ αντίστροφη πορεία ακολουθούν οι δυνάμεις με την ταχύτητα κοπής.



Επίσης παρατηρείται εντονότερη εξάρτηση την δυνάμεων κοπής από τη μεταβολής της προώσεως από την αντίστοιχη της ταχύτητας κοπής.

Ποσοτικά από την analysis of variance για κάθε παράμετρο παράγαμε τις εξής σχέσεις:

5.ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

$$F_z = 23.321 - 0.037416V + 0.20221f + 0.000039V^2 - 0.002799f^2 + 0.000121Vf$$

$$F_x = 25405 - 0.00971V + 0.0714f - 0.000004V^2 + 0.000866f^2 + 0.000199Vf$$

$$F_y = 19.186 - 0.06371V + 0.8126f + 0.000059V^2 - 0.006655f^2 + 0.000574Vf$$

Κατά την διάρκεια του πειράματος, λόγω μικρού εύρους συνθηκών ή άλλων παραγόντων όπως οι ταλαντώσεις είναι πιθανό να έρθουμε αντιμέτωποι με λάθος αποτελέσματα. Για αυτό το λόγο θα υπολογίσουμε τις δυνάμεις κοπής μέσω της θεωρίας της λοξής κοπής για να διαπιστώσουμε αν συγκλίνουν οι τιμές με αυτές του πειράματος. Θα χρησιμοποιήσουμε τους παρακάτω τύπους σύμφωνα με τα δεδομένα του πειράματος

$$\varepsilon \varphi \varphi_n = \frac{\sigma \nu \gamma_n}{\lambda - \eta \mu \gamma_n}$$

$$F_2 = \frac{F_s \sigma \nu \eta \mu (\rho_n - \gamma_n)}{\sigma \nu (\varphi_n + \rho_n - \gamma_n)} \quad F_3 = \frac{\tau_{S_1} b_1 t_1}{\eta \mu \varphi_n} \left\{ \frac{\sigma \nu (\rho_n - \gamma_n) \cdot \varepsilon \varphi i - \varepsilon \varphi n_c \cdot \eta \mu \rho_n}{[\sigma \nu^2 (\varphi_n + \rho_n - \gamma_n) + \varepsilon \varphi^2 n_c \cdot \eta \mu^2 \gamma_n]^{1/2}} \right\}$$

$$F_F = \left\{ (F_1 \sigma \nu i + F_3 \eta \mu i) \eta \mu \gamma_n + F_2 \sigma \nu \gamma_n \right\}^2 + (F_1 \eta \mu i - F_3 \sigma \nu i)^2 \quad (5)$$

$$F_N = (F_1 \sigma \nu i + F_3 \eta \mu i) \sigma \nu \gamma_n - F_2 \eta \mu \gamma_n \quad F_S = \left\{ [(F_1 \sigma \nu i + F_3 \eta \mu i) \sigma \nu \varphi_n - F_2 \eta \mu \varphi_n]^2 + (F_1 \eta \mu i - F_3 \sigma \nu i)^2 \right\}^{1/2}$$

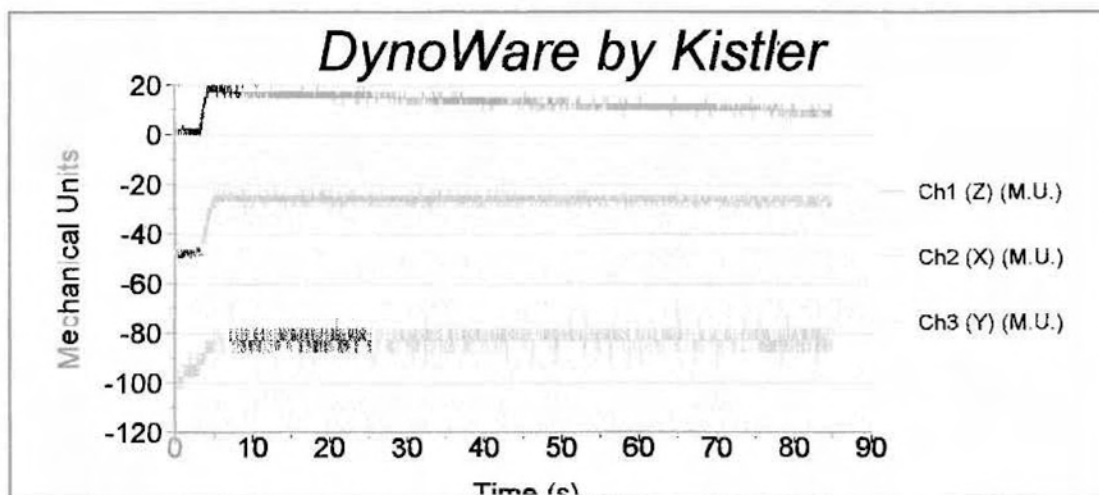
Τα δεδομένα του πειράματος είναι : $\gamma=11^\circ$, $i=0$, $\tau_{sy}=293.5$ MPA, γωνία τοποθέτησης $\kappa = 75^\circ$ και οι παρακάτω περιπτώσεις για

- Για ταχύτητα κοπής 200 m/min και πρόωση 0.05 mm έχουμε πάχος απόβλητου 0.75 mm
- Για ταχύτητα κοπής 300 m/min και πρόωση 0.20 mm έχουμε πάχος απόβλητου 0.4 mm
- Για ταχύτητα κοπής 500 m/min και πρόωση 0.32mm έχουμε πάχος απόβλητου 0.34mm

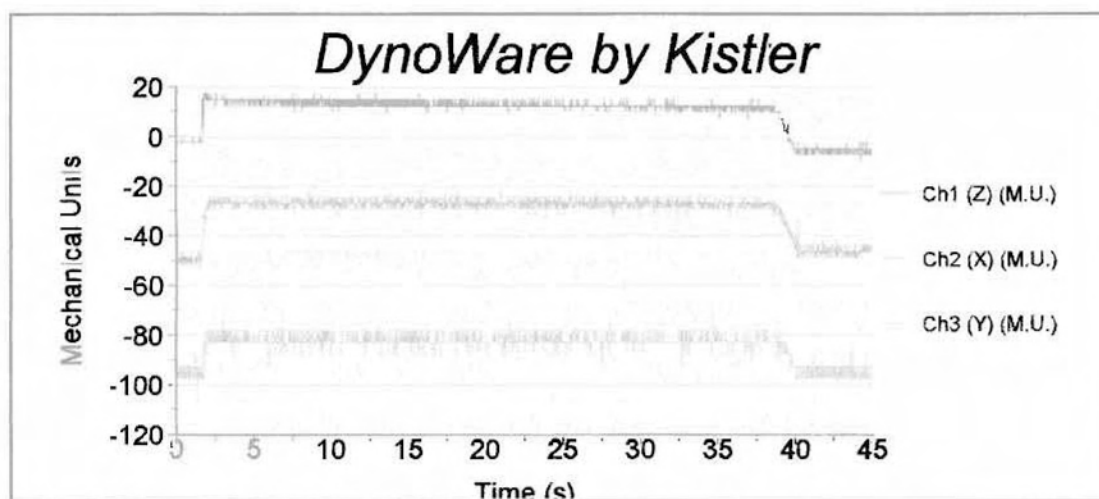
Εφαρμόζοντας τα δεδομένα πάνω στη θεωρία της λοξής κοπής δε παρατηρούμε μεγάλες αποκλίσεις στις τιμές των δυνάμεων επομένως το πείραμα στο σύνολο του μπορεί να κριθεί επιτυχές.

6.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

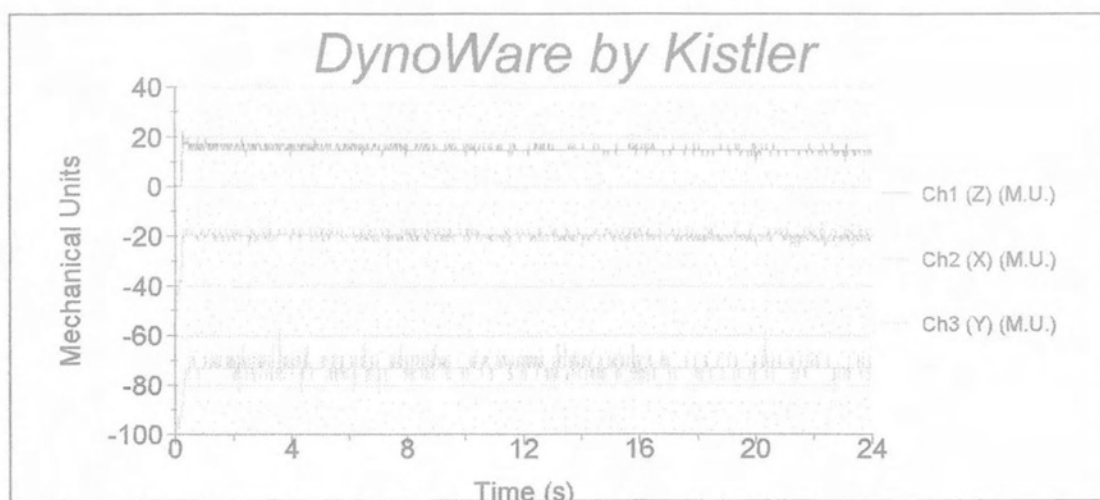
Π.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΟΠΗΣ ERTACETAL



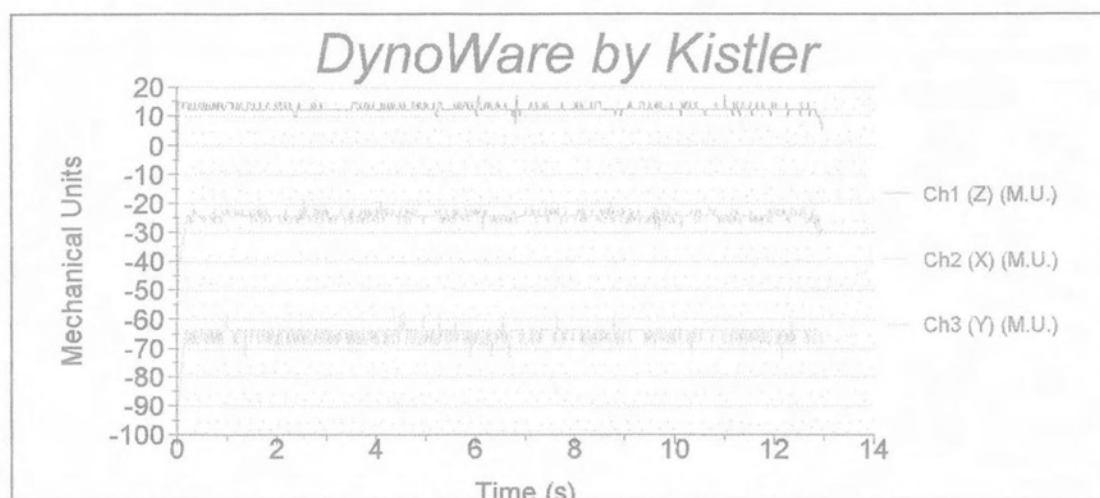
Διάγραμμα Π1 : Διάγραμμα δυνάμεων κοπής Ertacetal ($v=200\text{m/min}$, $f=0.05\text{mm/rev}$)



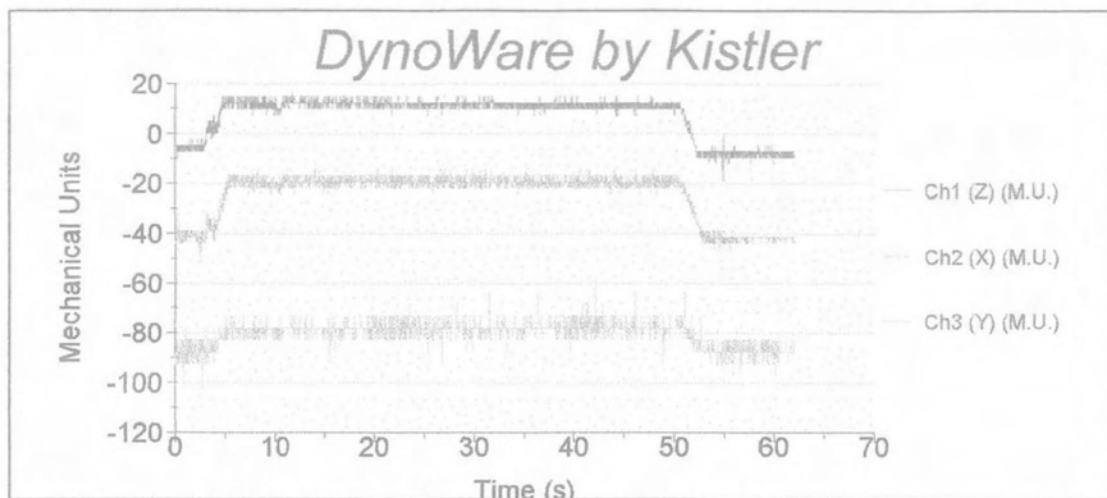
Διάγραμμα Π2 : Διάγραμμα δυνάμεων κοπής Ertacetal ($v=200\text{m/min}$, $f=0.10\text{mm/rev}$)



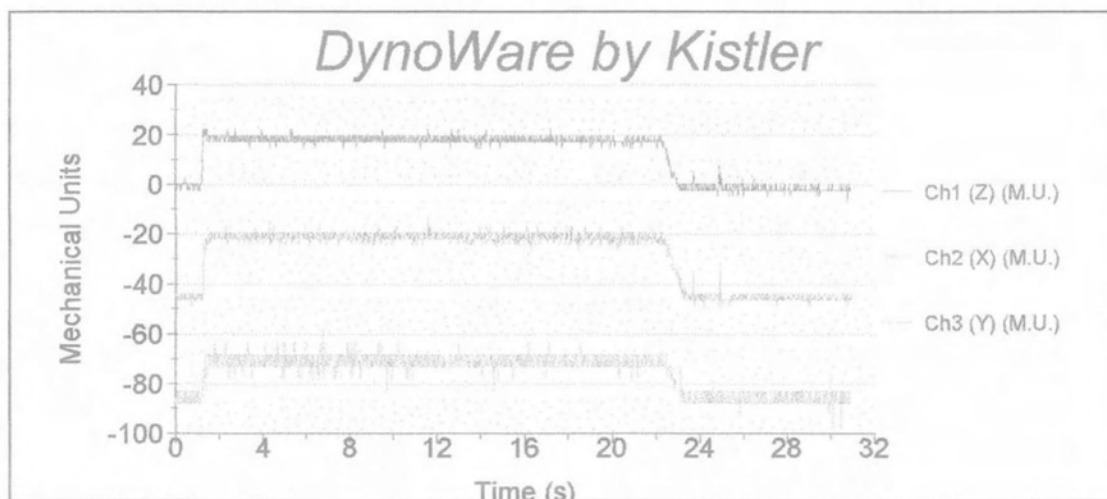
Διάγραμμα Π3 : Διάγραμμα δυνάμεων κοπής Ertacetal ($v=200\text{m/min}$, $f=0.20\text{mm/rev}$)



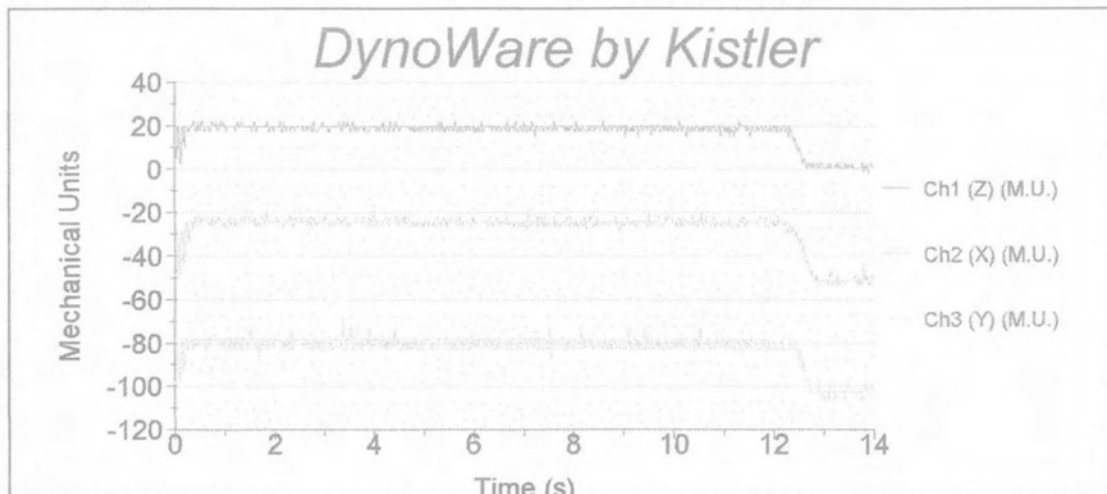
Διάγραμμα Π4 : Διάγραμμα δυνάμεων κοπής Ertacetal ($v=200\text{m/min}$, $f=0.32\text{mm/rev}$)



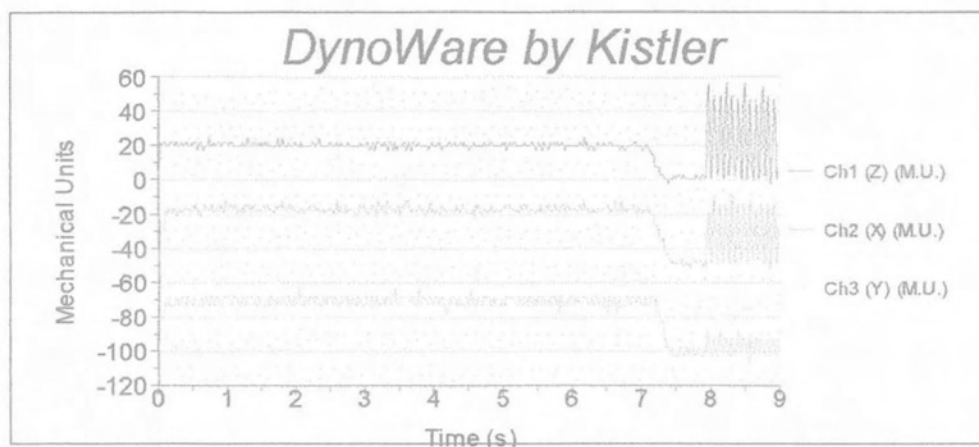
Διάγραμμα Π5 : Διάγραμμα δυνάμεων κοπής Ertacetal ($v=300\text{m/min}$, $f=0.05\text{mm/rev}$)



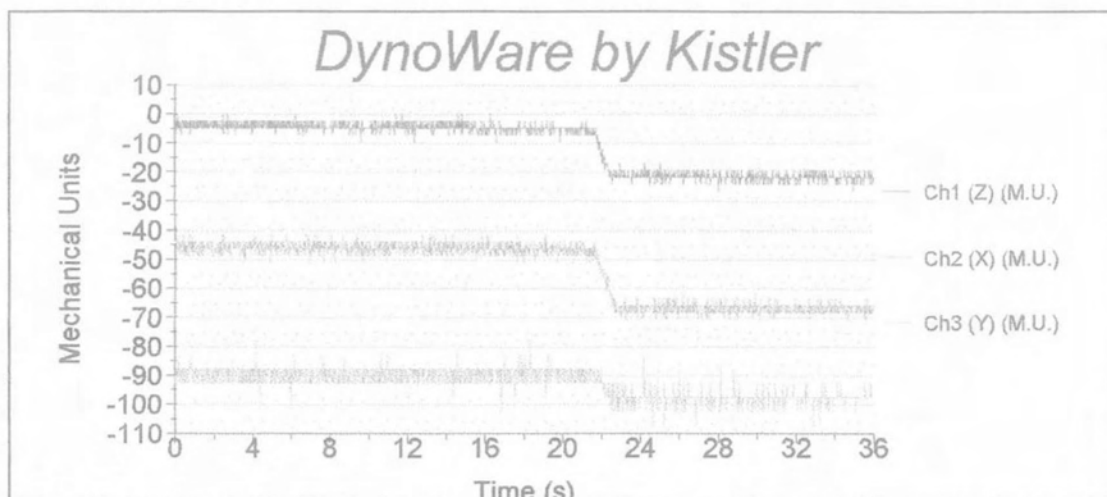
Διάγραμμα Π6 : Διάγραμμα δυνάμεων κοπής Ertacetal ($v=300\text{m/min}$, $f=0.10\text{mm/rev}$)



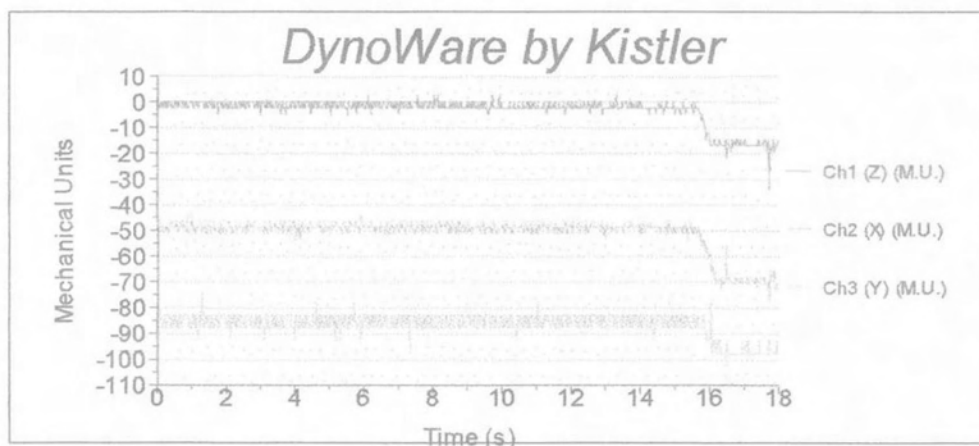
Διάγραμμα Π7 : Διάγραμμα δυνάμεων κοπής Ertacetal ($v=300\text{m/min}$, $f=0.20\text{mm/rev}$)



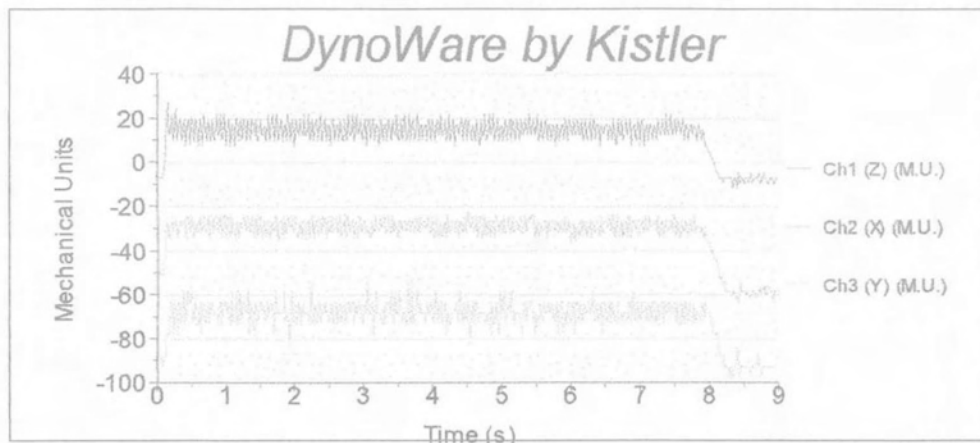
Διάγραμμα Π8 : Διάγραμμα δυνάμεων κοπής Ertacetal ($v=300\text{m/min}$, $f=0.32\text{mm/rev}$)



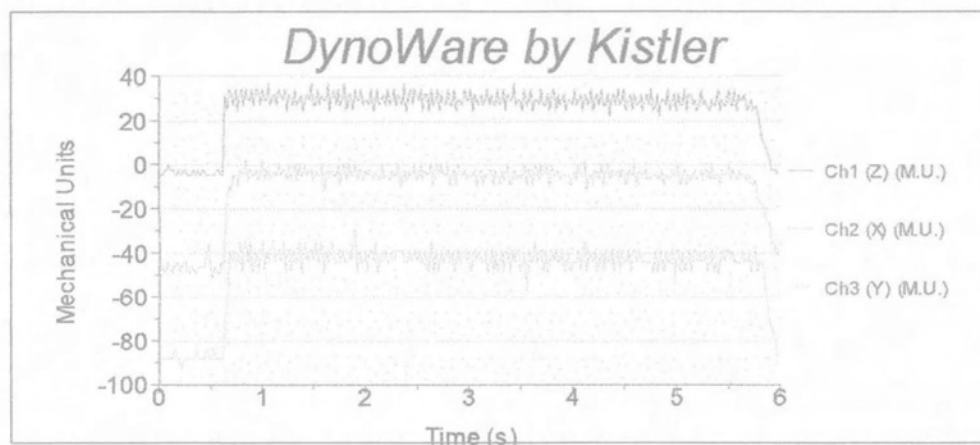
Διάγραμμα Π9 : Διάγραμμα δυνάμεων κοπής Ertacetal ($v=500\text{m/min}$, $f=0.05\text{mm/rev}$)



Διάγραμμα Π10 : Διάγραμμα δυνάμεων κοπής Ertacetal ($v=500\text{m/min}$, $f=0.10\text{mm/rev}$)



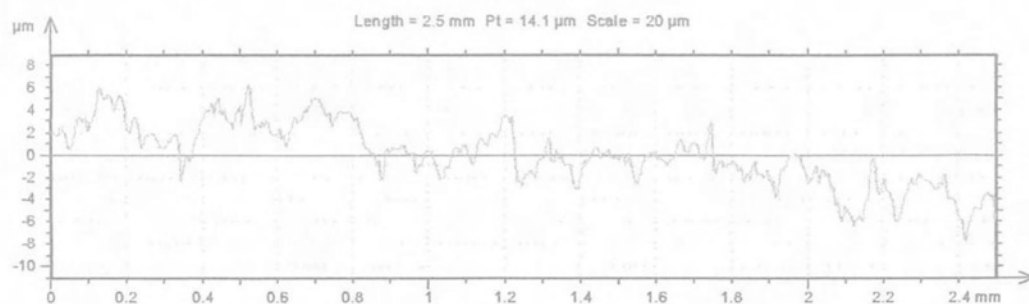
Διάγραμμα Π11 : Διάγραμμα δυνάμεων κοπής Ertacetal ($v=500\text{m/min}$, $f=0.20\text{mm/rev}$)



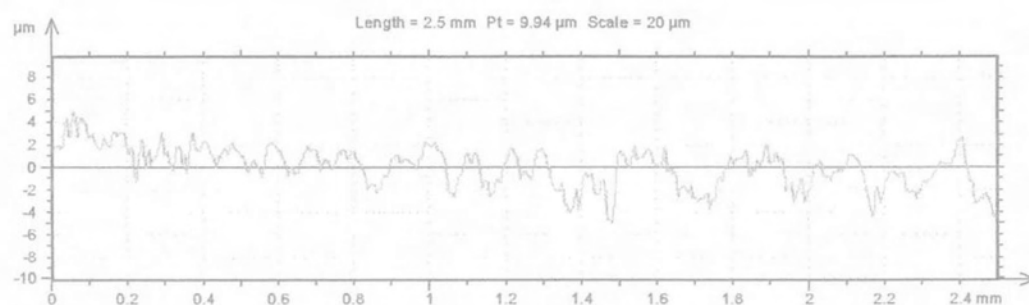
Διάγραμμα Π12 : Διάγραμμα δυνάμεων κοπής Ertacetal ($v=500\text{m/min}$, $f=0.32\text{mm/rev}$)

Π.2 ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ERTACETAL

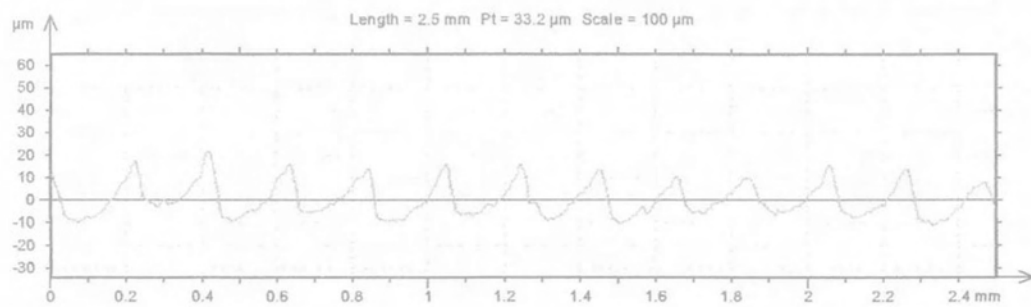
1^η ΔΟΚΙΜΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ



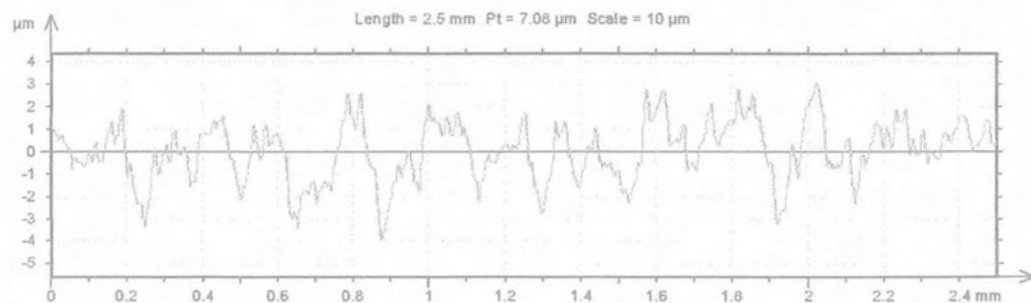
Διάγραμμα Π.13: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=200\text{m/min}$, $f=0.05\text{mm/rev}$)



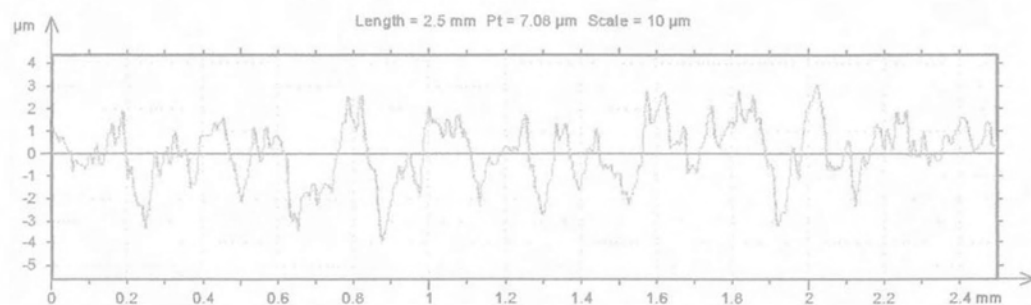
Διάγραμμα Π.14: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=200\text{m/min}$, $f=0.10\text{mm/rev}$)



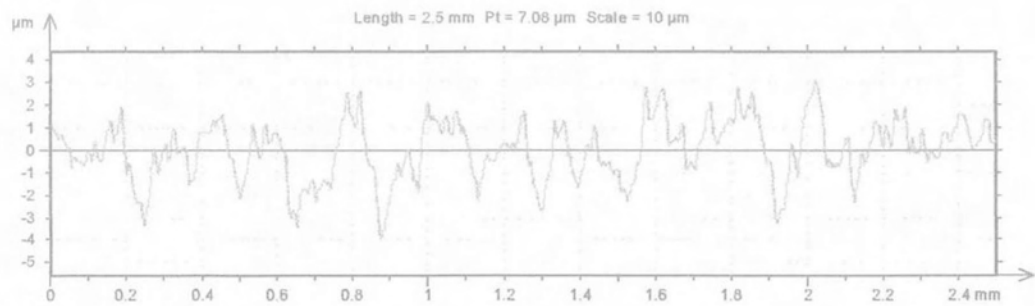
Διάγραμμα Π.15: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=200\text{m/min}$, $f=0.20\text{mm/rev}$)



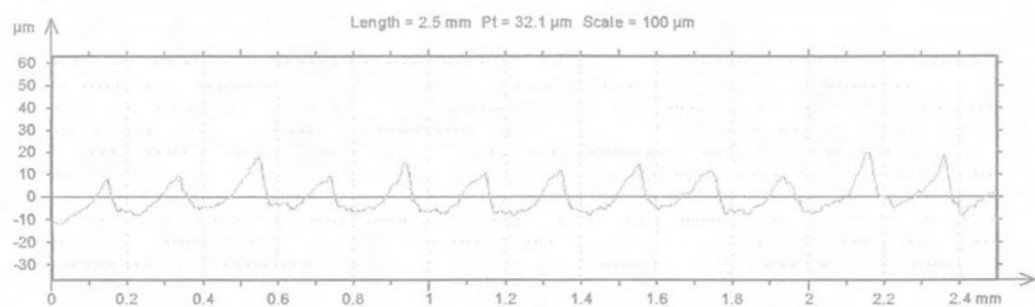
Διάγραμμα Π.16: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=200\text{m/min}$, $f=0.32\text{mm/rev}$)



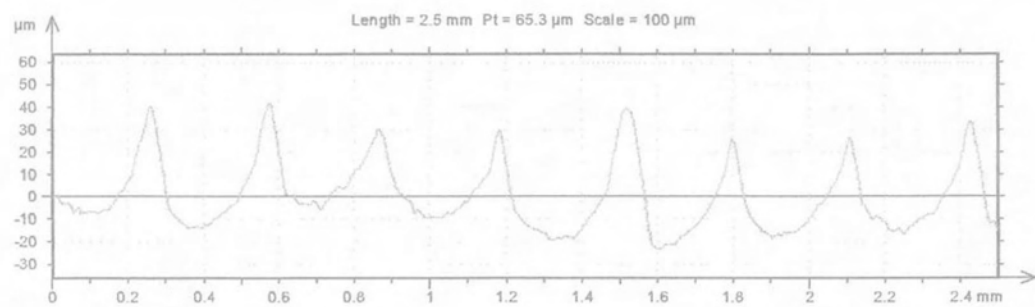
Διάγραμμα Π.17: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=300\text{m/min}$, $f=0.05\text{mm/rev}$)



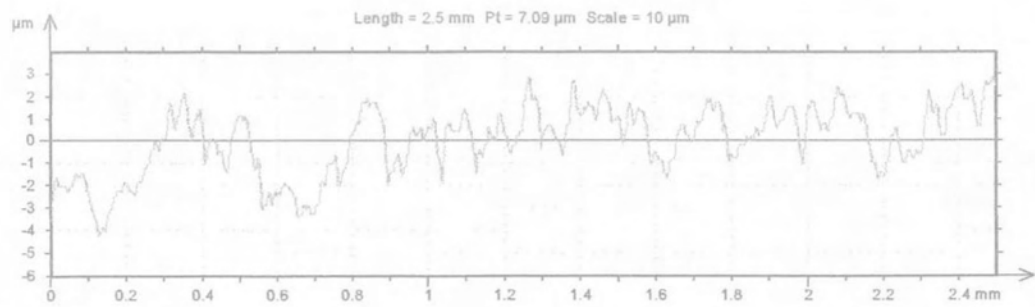
Διάγραμμα Π.18: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=300\text{m/min}$, $f=0.10\text{mm/rev}$)



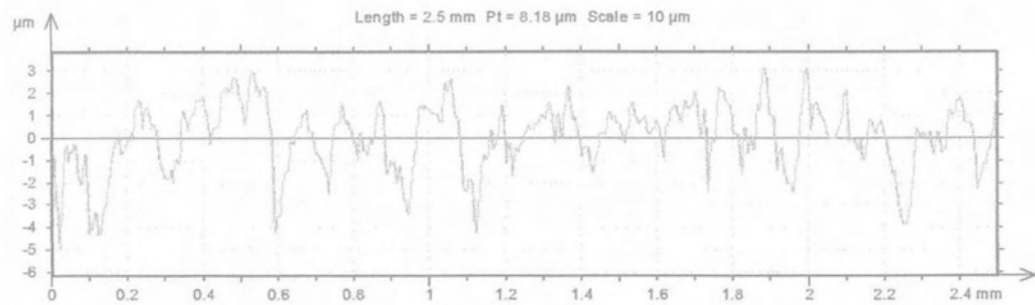
Διάγραμμα Π.19: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=300\text{m/min}$, $f=0.20\text{mm/rev}$)



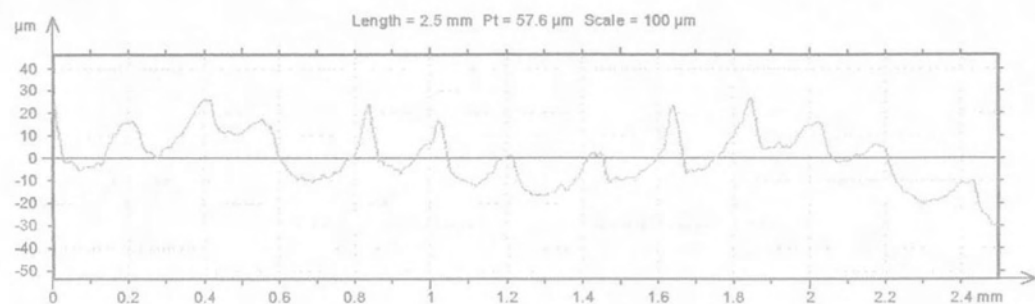
Διάγραμμα Π.20: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=300\text{m/min}$, $f=0.32\text{mm/rev}$)



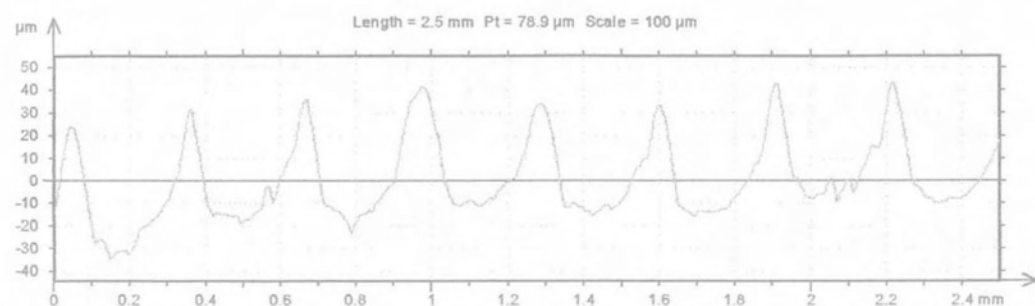
Διάγραμμα Π.21: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=500\text{m/min}$, $f=0.05\text{mm/rev}$)



Διάγραμμα Π.22: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=500\text{m/min}$, $f=0.10\text{mm/rev}$)

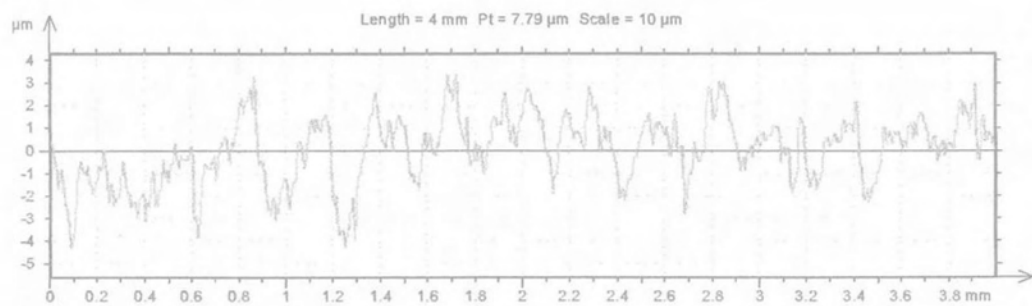


Διάγραμμα Π.23: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=500\text{m/min}$, $f=0.20\text{mm/rev}$)

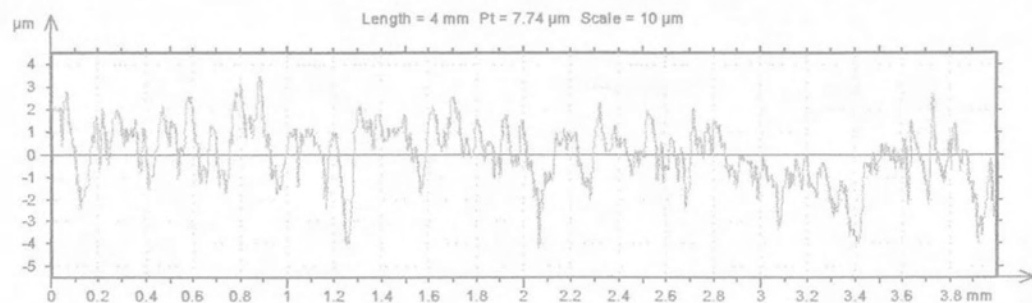


Διάγραμμα Π.24: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=500\text{m/min}$, $f=0.32\text{mm/rev}$)

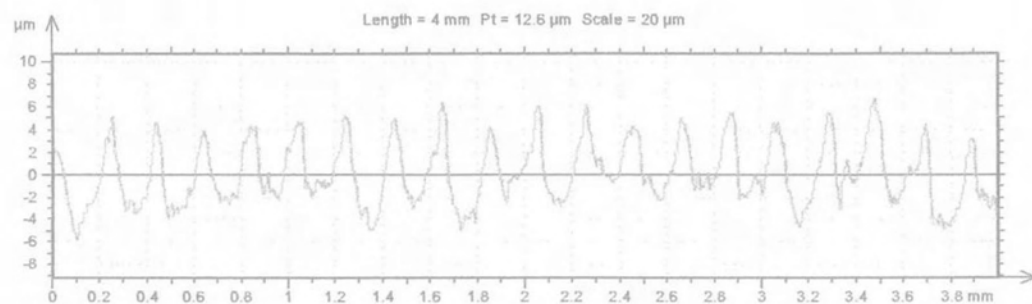
2^η δοκιμή μετρήσεων τραχύτητας



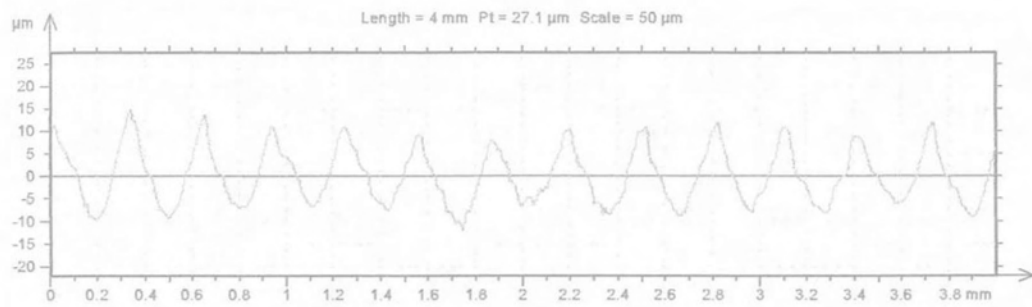
Διάγραμμα Π.25: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=200\text{m/min}$, $f=0.05\text{mm/rev}$)



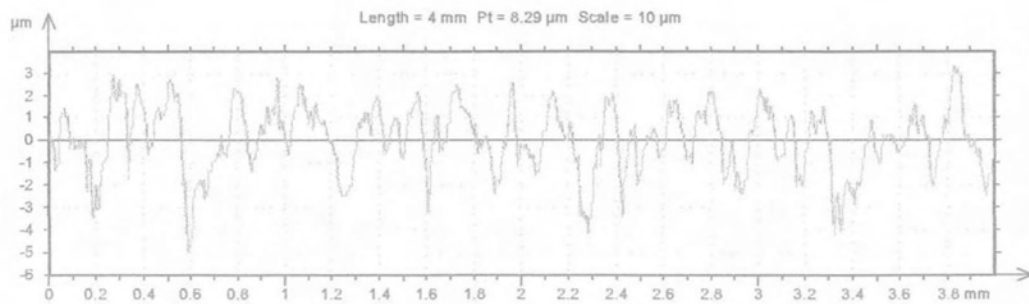
Διάγραμμα Π.26: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=200\text{m/min}$, $f=0.10\text{mm/rev}$)



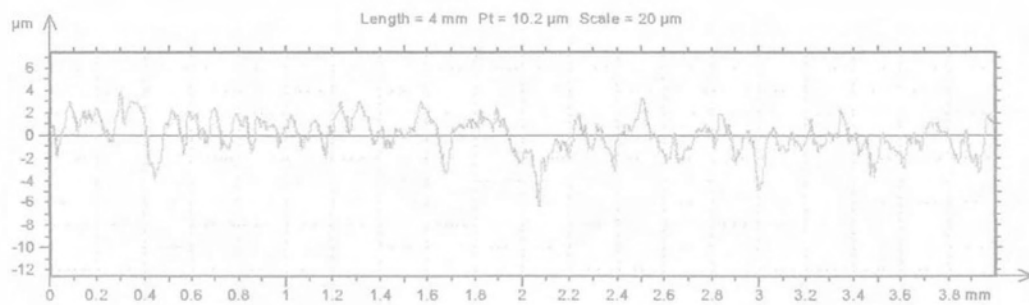
Διάγραμμα Π.27: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=200\text{m/min}$, $f=0.20\text{mm/rev}$)



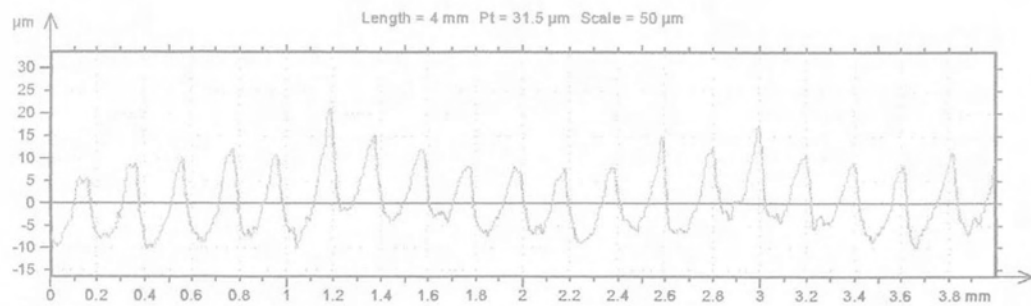
Διάγραμμα Π.28: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=200\text{m/min}$, $f=0.32\text{mm/rev}$)



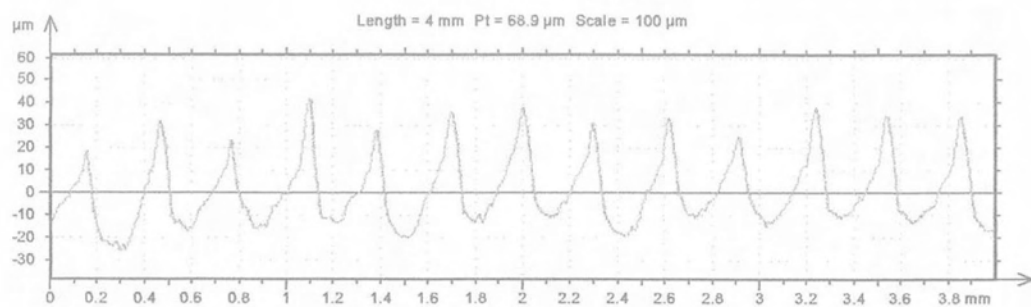
Διάγραμμα Π.29: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=300\text{m/min}$, $f=0.05\text{mm/rev}$)



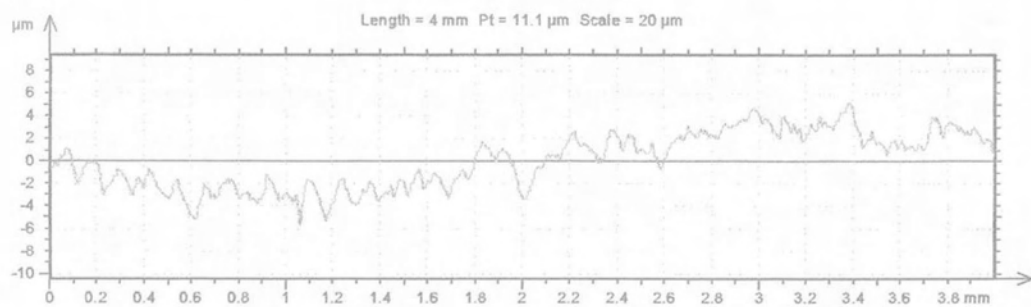
Διάγραμμα Π.30: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=300\text{m/min}$, $f=0.10\text{mm/rev}$)



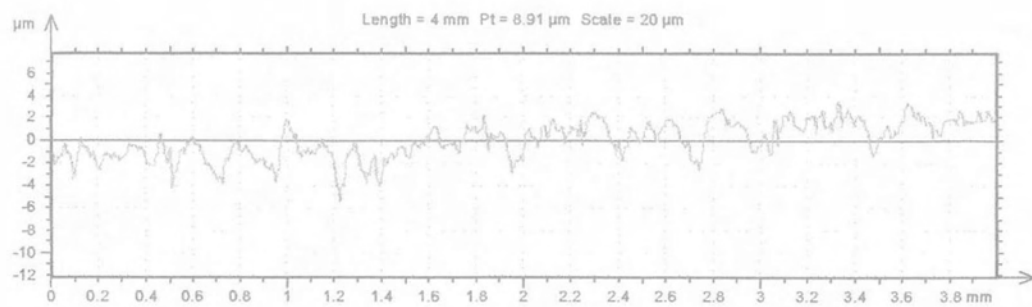
Διάγραμμα Π.31: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=300\text{m/min}$, $f=0.20\text{mm/rev}$)



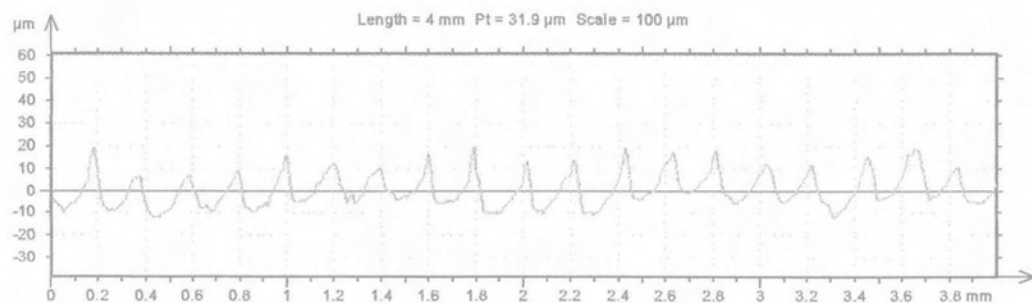
Διάγραμμα Π.32: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=300\text{m/min}$, $f=0.32\text{mm/rev}$)



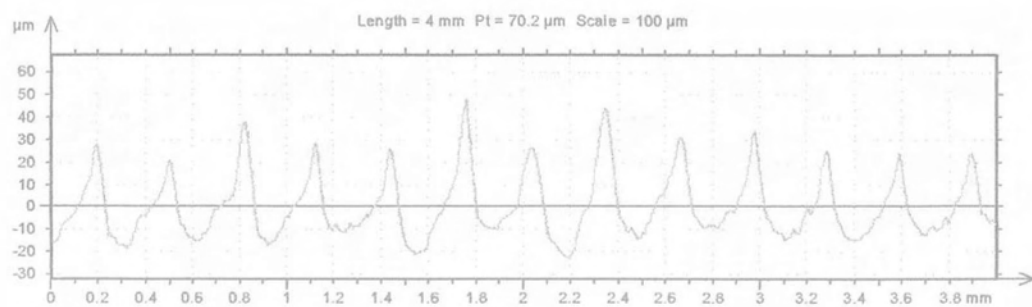
Διάγραμμα Π.33: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=500\text{m/min}$, $f=0.05\text{mm/rev}$)



Διάγραμμα Π.34: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=500\text{m/min}$, $f=0.10\text{mm/rev}$)

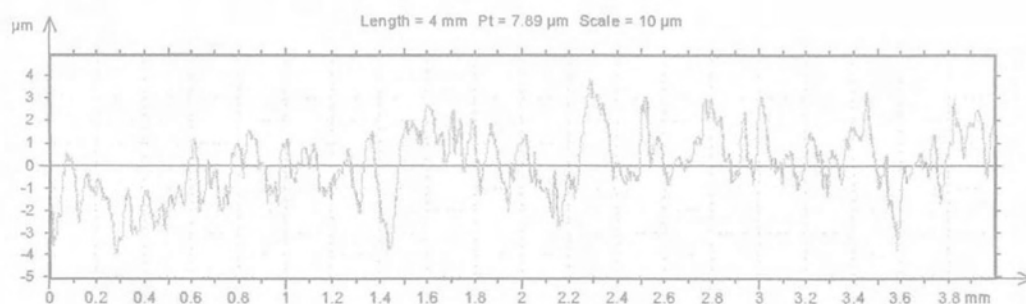


Διάγραμμα Π.35: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=500\text{m/min}$, $f=0.20\text{mm/rev}$)

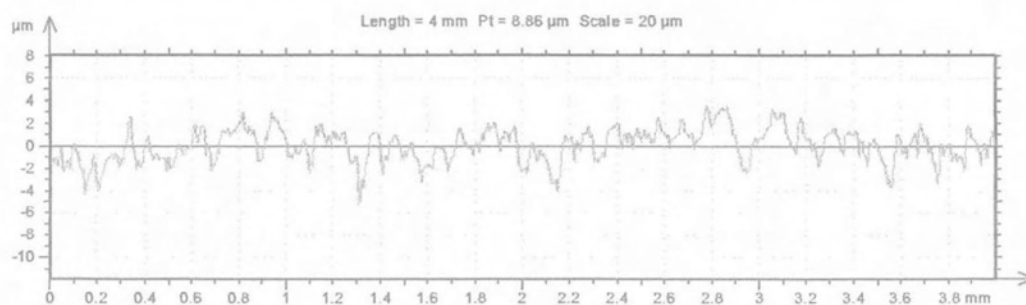


Διάγραμμα Π.36: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=500\text{m/min}$, $f=0.32\text{mm/rev}$)

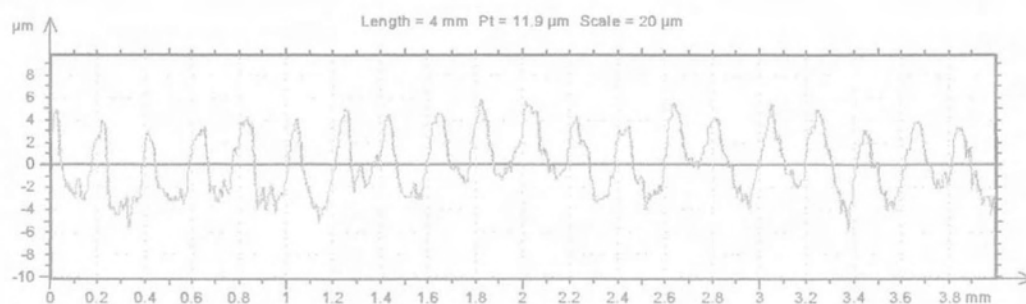
3^η δοκιμή μετρήσεων τραχύτητας



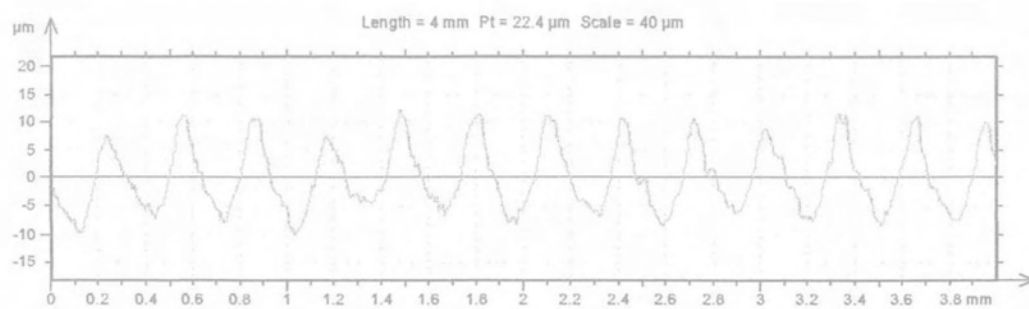
Διάγραμμα Π.37: Περιγράμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=200\text{m/min}$, $f=0.05\text{mm/rev}$)



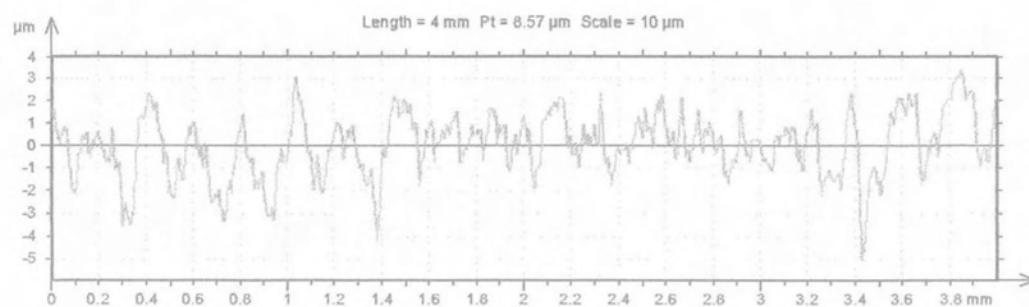
Διάγραμμα Π.38: Περιγράμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=200\text{m/min}$, $f=0.10\text{mm/rev}$)



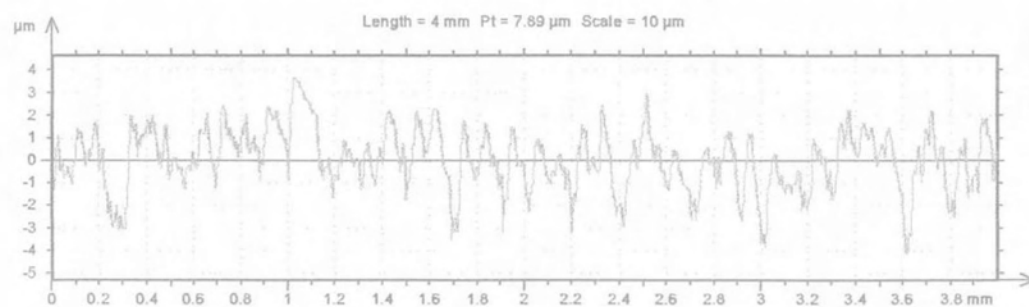
Διάγραμμα Π.39: Περιγράμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=200\text{m/min}$, $f=0.20\text{mm/rev}$)



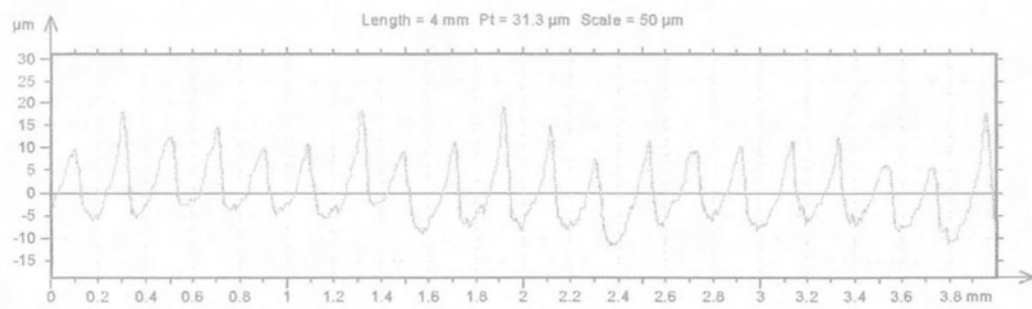
Διάγραμμα Π.40: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=200\text{m/min}$, $f=0.32\text{mm/rev}$)



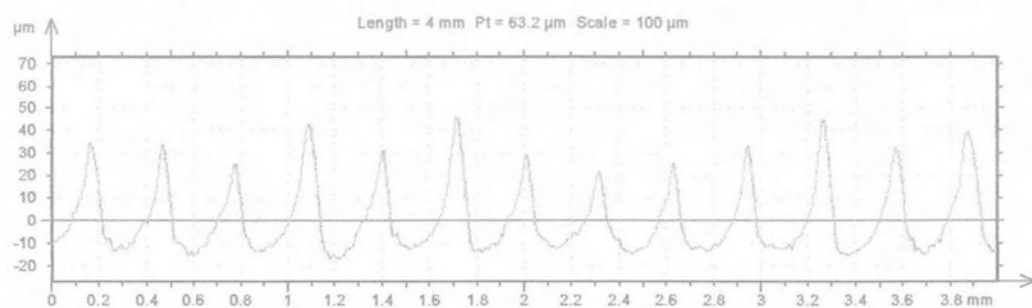
Διάγραμμα Π.41: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=300\text{m/min}$, $f=0.05\text{mm/rev}$)



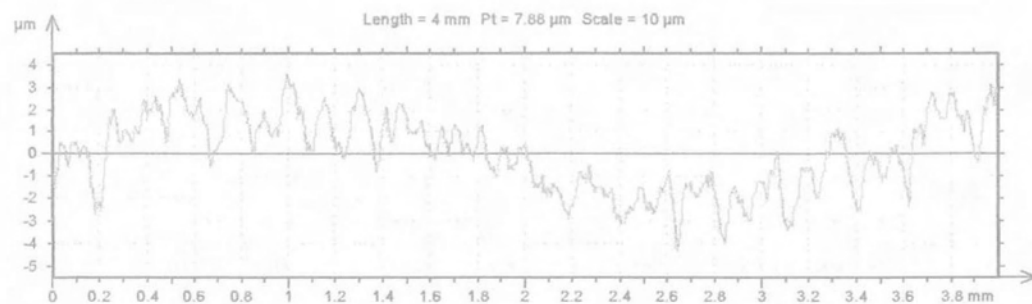
Διάγραμμα Π.42: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=300\text{m/min}$, $f=0.10\text{mm/rev}$)



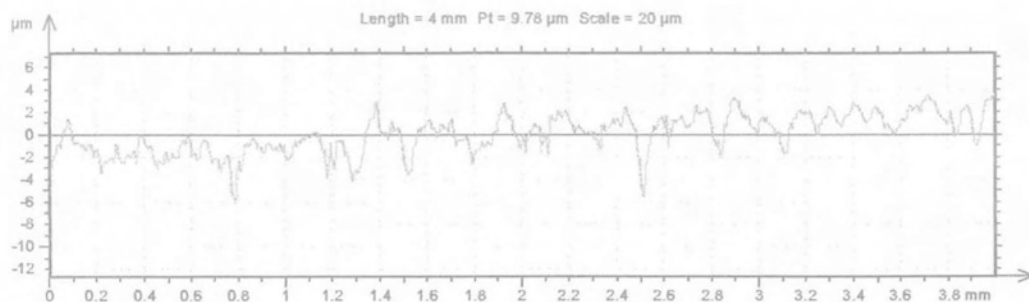
Διάγραμμα Π.43: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=300\text{m/min}$, $f=0.20\text{mm/rev}$)



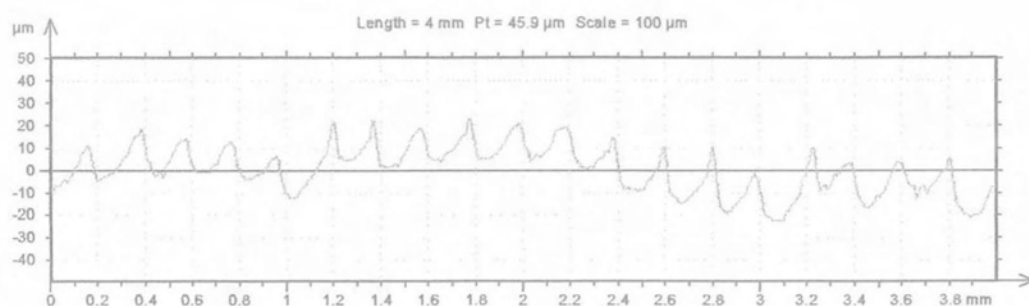
Διάγραμμα Π.44: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=300\text{m/min}$, $f=0.32\text{mm/rev}$)



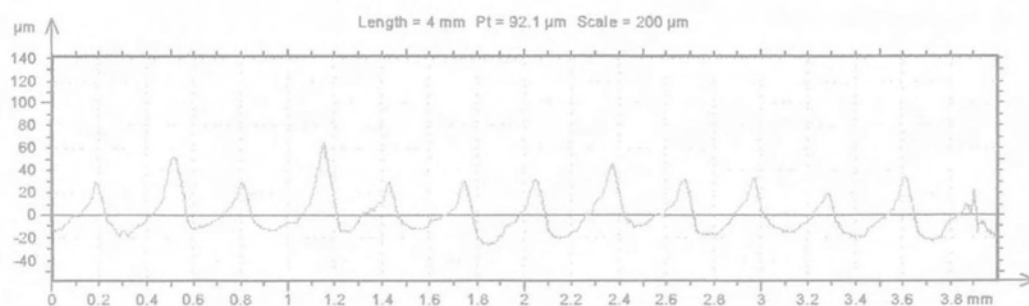
Διάγραμμα Π.45: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=500\text{m/min}$, $f=0.05\text{mm/rev}$)



Διάγραμμα Π.46: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=500\text{m/min}$, $f=0.10\text{mm/rev}$)



Διάγραμμα Π.47: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=500\text{m/min}$, $f=0.20\text{mm/rev}$)



Διάγραμμα Π.48: Περίγραμμα επιφάνειας Ertacetal ($v=500\text{m/min}$, $f=0.32\text{mm/rev}$)

7.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

• Βιβλία

1) Π.Γ. Πετρόπουλου " *Μηχανουργική τεχνολογία - Τεχνολογία κατεργασιών κοπής των μετάλλων Τόμος ΙΙ - 1* ", Εκδόσεις Ζήτη , 1991

2) Rank Taylor Hobson " *Talysprofile handbook version 1.1.1.* ", 1995

3) Π.Γ. Πετρόπουλου " *Μαθήματα Μηχανουργικής Τεχνολογίας - Θεωρία Και Τεχνολογία Μηχανουργικών Κατεργασιών Των Μετάλλων ΤΕΥΧΟΣ ΙΙ* " , ΕΚΔΟΣΕΙΣ Ζήτη , 1991

4) Γ.Ν. Χαϊδεμενόπουλος " *Φυσική Μεταλλουργία - Θεμελιώδεις Αρχές* " , Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας , 2000

5) Armin Steinmuller - Haan Grruiten , " *Τεχνολογία Των Κατεργασιών Των Υλικών* " , Εκδόσεις ΙΩΝ , 1998

6) Αναστάσιος Β. Κάτος " *Στατιστική* " , Εκδόσεις Παρατηρητής , 1998

7) Χρυσούλα Ζαχαροπούλου , " *Στατιστική : Μέθοδοι - Εφαρμογές* , ΤΟΜΟΣ Β " , Εκδόσεις Σοφία , 1998

• Δημοσιεύσεις

1) Σ. , "Τσομπάνης , Ι. Στάμος , " *Διασυσχέτιση των παραμέτρων τραχύτητας σε κατεργασίες τόννευσης* " Διπλωματική εργασία του τμήματος μηχανολόγων μηχανικών βιομηχανίας του πανεπιστημίου Θεσσαλίας , 1997

2) E.S Gadelmawla , M.M . Koura , T.M.A . Maksoud , I.M Elewa , H.H Soliman , " *Roughness parameters* " , Journal of materials processing technology , 123 (2002) 133- 145

3) G.Petropoulos , C. Pantazaras , D. Dramalis , " *Characterization of profile shapes of machined surfaces* " , 3rd International conference " Research and development in mechanical industry RaDMI 2003" , Serbia and Montenegro

4) G.Petropoulos , C. Pantazaras , D. Dramalis , N. Vodolazskaya . " *Is the R_k group of roughness parameters suitable to describe turned surfaces ?* " International scientific conference *Unitech 03* , Gabrovo, Bulgaria

5) G.Petropoulos , C. Pantazaras , D. Dramalis , " An integrated description of bearing curves of machined surfaces " International conference " Power transmission 03" , Varna , Bulgaria

• **Ιστοσελίδες**

1) www.minitab.com

2) www.taylor-hobson.com

3) www.quadrantplastics.com

4) www.engineeringplastics.com

5) www.etka.gr

6) www.metal.ntua.gr